

Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada

EDIÇÃO ESPECIAL - INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada

Volume 2 - Número 1 – Outubro 2016

EDIÇÃO ESPECIAL – INICIAÇÃO CIENTÍFICA

ISSN: 2525-4251 (versão on line)

Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada

Volume 2 - Número 1 – Outubro 2016

EDIÇÃO ESPECIAL – INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Foco e Escopo

A Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada é uma publicação da Universidade de Pernambuco que tem como objetivo ser um canal de divulgação de trabalhos nas áreas de engenharia, computação e áreas tecnológicas convergentes.

Seções

Engenharia Civil
Engenharia da Computação
Engenharia Elétrica
Engenharia Mecânica

Processo de Avaliação

O processo de avaliação da Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada será realizado por no mínimo dois revisores, professores da UPE ou convidados externos, envolvidos na pós-graduação.

Periodicidade

Semestral.

Política de Acesso Livre

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratização mundial do conhecimento.

Corpo Editorial:

Luis Arturo Gómez Malagón
lagomezma@poli.br
Alexandre Magno Andrade Maciel
amam@ecomp.poli.br
Diego José Rativa Millan
diego.rativa@ecomp.poli.br

Comitê Editorial:

Alberto Casado Lordsleem Lordsleem Júnior
Francisco Gilfran Alves Milfont
Francisco Ilo Bezerra Cardoso
Maria Lencastre Pinheiro M. Cruz
Sérgio Campello Oliveira

Universidade de Pernambuco

Reitor: Pedro Henrique de Barros Falcão
Vice-Reitor: Maria do Socorro Cavalcanti

Escola Politécnica de Pernambuco

Diretor: José Roberto Cavalcanti
Vice-Diretor: Alexandre Duarte Gusmão

Endereço

Rua Benfica, 455 – Madalena
Recife/PE - CEP: 50/720-001
Telefone: 55 81 3184-7513
Email: cpg@poli.br

CIP Catalogação-na-Publicação

Universidade de Pernambuco Escola Politécnica de Pernambuco
Biblioteca Central

Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada / Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco - Vol.2, no. 1 (2016) - Recife: UPE, 2016.

Semestral

ISSN 2525-4251 (versão online)

Título abreviado: Rev. Eng. Pesquisa Aplicada.

¹ ENGENHARIA - Periódicos

Catalogação
XXX.YYYY

Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada

Volume 2 – Número 1 – Outubro 2016

Iniciação Científica dos Cursos de Engenharia da Universidade de Pernambuco

Betânia da Mata Ribeiro Gomes - Diego Rativa- Sergio Campello **1**

Trabalhos de Iniciação Científica – 2009-2010 **3**

Trabalhos de Iniciação Científica - 2010-2011 **120**

Trabalhos de Iniciação Científica - 2011-2012 **248**

Trabalhos de Iniciação Científica - 2012-2013 **346**

Trabalhos de Iniciação Científica - 2013-2014 **420**

Trabalhos de Iniciação Científica - 2014-2015 **547**

Iniciação Científica dos Cursos de Engenharia da Universidade de Pernambuco.

Title: Scientific Initiation in Engineering Courses of the University of Pernambuco.

Betânia da Mata Ribeiro Gomes
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
betania.mata@upe.br

Diego José Rativa Millan
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
diego.rativa@ecomp.poli.br

Sergio Campello Oliveira
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
scampello@ecomp.poli.br

A Universidade de Pernambuco (UPE) é uma universidade pública estadual multicampi e vem se desenvolvendo bastante desde sua fundação como universidade há 25 anos. Anualmente, a UPE promove a Semana Universitária com diversas atividades ocorrendo em todas as suas unidades.

A Semana Universitária da UPE possibilita aos estudantes de iniciação científica, aos participantes de projetos de extensão e de ensino, assim como aos estudantes de pós-graduação, apresentarem os trabalhos desenvolvidos ao longo do ano num evento integrado que reúne toda a comunidade acadêmica da UPE bem como de outras instituições de ensino e pesquisa da região. Apenas no ano de 2015, um número total de 457 trabalhos, dos quais 232 de Iniciação Científica, foram apresentados durante o evento. As apresentações destes trabalhos são divididas em módulos temáticos, de acordo com as áreas do CNPq, são avaliados por uma comissão composta por três professores especialistas na área de concentração do trabalho e os melhores trabalhos em cada área de conhecimento são premiados.

Os Programas de Iniciação Científica estão entre os mais exitosos dentre as linhas de financiamento da pesquisa brasileira. O Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) possibilita maior envolvimento dos estudantes de graduação em atividades de pesquisa, bem como sua maior participação nos Grupos de Pesquisa e no apoio a Pós-Graduação, fortalecendo os Programas *stricto sensu*. A Iniciação Científica (IC) apresenta ao aluno o cenário real em que as pesquisas científicas são realizadas, desmistificando o ato de se produzir ciência, ao mesmo tempo em que introduz o acadêmico num ambiente em que é estimulada a troca de informações e o livre questionamento do conhecimento.

Esta edição especial da Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada (REPA) publica os trabalhos de Iniciação Científica desenvolvidos na Escola Politécnica de Pernambuco nos anos de 2009 a 2015. Esses trabalhos fortalecem substancialmente os sete cursos de Graduação em Engenharia, os quatro programas de Mestrado e as diversas especializações pertencentes à Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, ou apenas POLI.

Os trabalhos aqui publicados, foram avaliados por bancas examinadoras mediante apresentações orais durante as semanas universitárias, porém os manuscritos não foram submetidos a um processo de avaliação normal de uma revista, por essa razão estão recompilados como uma edição especial da REPA. Os artigos estão organizados cronologicamente por seções anuais desde o ano de 2009 até 2015 e por seções por área de estudo. Não poderíamos deixar de agradecer a César José Santana da Silva pelo seu trabalho cuidadoso na edição deste volume.

É com imensa satisfação que levamos ao público geral, através deste importante veículo de divulgação, a Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, uma mostra da ciência produzida por nossos alunos de Iniciação Científica.

Cordialmente,



Betânia da Mata Ribeiro Gomes, graduada em Enfermagem (1990), mestre em Hebiatria (2007) pela Universidade de Pernambuco doutora em Ciências pela Universidade de São Paulo (2012). Atualmente é Professora Adjunto do Curso de Enfermagem, é membro do Mestrado em Enfermagem e Coordenadora Geral de Pesquisa da Universidade de Pernambuco.



Diego Rativa, doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (2008), atuou como pesquisador pós-doutoral da Science Foundation Ireland e da Enterprise Ireland (2008-2011), e neste momento é professor adjunto e coordenador do curso de Engenharia da Computação da Universidade de Pernambuco, é membro permanente do Mestrado em Engenharia de Sistemas e Gerente da Divisão de Pesquisa da Escola Politécnica de Pernambuco.



Sérgio Campello Oliveira, graduado, mestre e doutor em Engenharia Eletrônica pela Universidade Federal de Pernambuco (2001, 2004 e 2008). Atualmente é Professor Associado da Universidade de Pernambuco. Atuou como coordenador de graduação, Gerente de departamento e Gerente de Pesquisa na Escola Politécnica de Pernambuco. Atualmente é membro permanente do Mestrado em Engenharia de Sistemas e coordenador Geral de Pós-Graduação da Universidade de Pernambuco.

Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada

Volume 2 – Número 1 – Outubro 2016

TRABALHOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – 2009-2010

Diagnóstico de Gestão de Resíduos da Construção Civil no Município de Olinda

Andreia Farias – Stela Fucale – Alexandre Gusmão **3**

Estudo da Interação Solo-Estrutura em um edifício com Patologias de Fundações na Região Metropolitana do Recife

Camila Cavalcanti – Alexandre Gusmão – S.F. Sukar **13**

Estudo Experimental do Emprego do Resíduo de Construção e Demolição em Solo-Cimento

Cybelle Viana – K.P.V. Lafayette **21**

Elaboração de Modelo de Avaliação de Riscos Relacionados a Equipamentos Mecânicos em Canteiros de Obra

*Felipe Andrade – Kohlman Rabbani – J.B. Bardokébas
E.M. Lagos, B.M. Vasconcelos* **28**

Desenvolvimento de metodologia de coleta de dados de indicadores de desempenho para bechmarking de empresas de construção

Jose Arimateia **41**

Avaliação Do Desempenho De Impregnante Inibidor De Corrosão Aplicado Em Estruturas De Concreto Armado Sob A Ação De Íons Cloreto

Ranielli Silva – E.C.B. Monteiro **47**

Influência de aditivo retardador de pega na reciclagem da pasta de gesso utilizada como revestimento interno de parede

Rodrigo Menezes – Yêda Povoas **55**

Amplificação e clonagem de pulsos curtos em amplificadores ópticos paramétricos a fibra óptica

A. Nascimento – J. Freitas **63**

Alocação de Comprimentos de Ondas em Redes Ópticas usando Otimização por Enxame de Partículas

Caio Monteiro – Carmelo Bastos Filho **68**

Códigos Corretores de Erros Baseados nas Transformadas Trigonométricas de Corpo Finito <i>Edgar Almeida – F. Nery – J.B. Lima – Daniel Cunha</i>	74
Estudo sobre decodificação iterativa usando códigos de treliça <i>Igor Souza – M.L. Alcoforado</i>	79
Otimização do Processo de Roteamento e Atribuição de Comprimento de Onda em Redes Ópticas Translúcidas Utilizando Conceitos de Computação Inteligente <i>Veruzka Lima – H.A. Pereira</i>	85
Estudo teórico das propriedades óticas não lineares de nanopartículas metálicas <i>Joao Monteiro – Luis Arturo Gomez Malagón</i>	93
Aplicação do Método dos Elementos Finitos na Eletrostática e Estimulação Magnética Transcraniana <i>Thiago Lemos – Marcilio Feitosa</i>	100
Modelagem e Simulação dos Efeitos Térmicos de um Reator de Leito Fixo para Reforma do Alcatrão para Geração de Gás Combustível <i>Fernanda Silva – J.D. Silva</i>	106
Análise Fluidodinâmica da Região de Gaseificação de um Gaseificador de Leite Fluidizado <i>Katia Barbosa, J.D. Silva</i>	114

Diagnóstico de Gestão de Resíduos da Construção Civil no Município de Olinda

Farias, A. B.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
andrea.faria@upe.br

Fucale, S. P.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Gumão, A. D.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

A volumosa geração de resíduos originada pelas atividades construtivas tem provocado problemas de ordem social, ambiental e econômica devido a sua destinação final, já que na grande maioria dos casos, estes são depositados incorretamente. Diante deste cenário surgiu, em 2002, a Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 307, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC). Com isso, passa a existir a necessidade de se analisar a situação da gestão dos RCC nos diversos municípios brasileiros. Desta maneira, esta pesquisa buscou diagnosticar a atual situação destes resíduos em Olinda/PE, através de visitas no município, entrevistas estruturadas, mapeamento dos pontos irregulares, entre outros. Portanto, o presente trabalho espera contribuir para a definição de um modelo de gestão dos RCC mais adequado às características regionais, para a adequação da construção civil ao contexto de responsabilidade ambiental e desenvolvimento sustentável.

Abstract

The bulky waste generation originated by constructive activity has caused problems in social, environmental and economical due to its final disposal, since in most cases, these are deposited incorrectly. On this scenario emerged in 2002, the Resolution CONAMA (national environmental Council) nº 307 establishing guidelines, criteria and procedures for the management of civil construction waste (CCW). With this, it's necessary to analyse the situation of the management of CCW in several brazilian municipalities. This research sought to diagnose the current situation of the management of this waste in Olinda/PE through visits in the municipality, structured interviews, mapping of irregular points, among others. Therefore, this paper is expected to contribute to defining a management model of the CCW more appropriate to regional characteristics, to the adequacy of construction to the context of environmental responsibility and sustainable development.

1 Introdução

O descontrolado crescimento da população mundial impulsionou o aumento da demanda por bens e serviços, o que gerou uma sociedade de consumo e desperdício como jamais acontecera na história. Paralelamente, aliado ao avanço tecnológico, o progresso da indústria propiciou a criação de novos produtos, cujo uso indiscriminado levou à dilapidação dos recursos naturais. Tradicionalmente, os resíduos gerados durante a produção e ao final de sua vida útil eram descartados em aterros irregulares [1].

Os resíduos originados pela indústria da construção civil compõem um grande percentual dos resíduos produzidos em meios urbanos brasileiros. Estima-se que esse número pode chegar a 49% em Recife/PE [2], cidade adjacente ao município de Olinda, sendo em média, 20% destes resíduos coletados por empresas autorizadas pelo poder público. Porém, deste último percentual, apenas 1% receberam destinação correta, ficando 353.606 toneladas em áreas clandestinas no ano de 2004.

Apesar dos altos índices de desperdício não serem uma exclusividade da indústria da construção, estes são destaque porque o consumo desnecessário de material resulta em uma alta produção de resíduos, causa diversos transtornos nas cidades, reduz a disponibilidade futura de materiais e energia, e provoca uma demanda desnecessária no sistema de transporte [3].

A inexistência de política pública, ausência de compromisso dos geradores e coletores de RCC e falta de consciência ambiental por parte da sociedade são responsáveis pelo aparecimento de depósitos clandestinos que, consequentemente, originam impactos ambientais como assoreamento de rios e córregos e obstrução de sistemas de drenagem; impactos sociais, visto que ocorre a proliferação de agentes transmissores de doenças e surgimento de catadores informais sem capacitação que trabalham em condições desumanas; e impactos financeiros, pois o consumo desnecessário de materiais construtivos gera aumento no custo da obra.

2 Objetivo

Esta pesquisa tem como objetivo apresentar um diagnóstico da situação dos Resíduos da Construção Civil (RCC) no município de Olinda/PE a fim de fornecer subsídios para o desenvolvimento de soluções adequadas para a gestão desses resíduos por parte dos diversos agentes envolvidos no processo, visando, dessa maneira, reduzir os impactos ambientais causados pela indústria da construção civil.

3 Metodologia

O modelo para diagnosticar a situação dos RCC em Olinda/PE envolveu a descrição dos aspectos básicos do município, a caracterização quantitativa dos resíduos, a composição percentual dos materiais presentes nos resíduos e o mapeamento de áreas de deposição clandestina. Além disso, houve a identificação das ações de adequação à Resolução CONAMA nº 307 (2002) e o contato direto com os atores envolvidos (por meio de entrevistas).

3.1. Pesquisa documental

A coleta de dados consistiu no levantamento do estado da arte relativo às características do município de Olinda/PE, das quais várias informações foram pesquisadas, como história, extensão territorial, localização, número de habitante da cidade, nível cultural, relevo, bacias hidrográficas existentes, desenvolvimento do setor econômico, entre outros.

3.2. Entrevistas

Elaborou-se um formulário (Anexo 01) com foco nas informações e dados fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa. Em seguida, o mesmo foi aplicado no setor de Limpeza Urbana do município, em pessoas qualificadas para tal.

Na identificação das ações de adequação à Resolução CONAMA nº 307 (2002), aplicou-se entrevistas estruturadas, todas agendadas e com roteiros diferenciados, entre os responsáveis pelos canteiros de obras das construtoras mais representativas do município (Anexo 02), pelas empresas coletoras e transportadoras mais atuantes de Olinda (Anexo 03) e pelo Aterro Controlado de Aguazinha (Anexo 04).

Nesta etapa foram consideradas as 04 (quatro) construtoras mais influentes de Olinda, com canteiro de obras do tipo multifamiliar, selecionadas por meio de visitas preliminares, visto que estas empresas são geradoras e responsáveis pelos impactos ambientais causados pelos resíduos e, em alguns casos, possuem um baixo nível tecnológico e um elevado nível de perdas de materiais

Com relação às empresas coletoras e transportadoras de RCC, foram selecionadas as 02 (duas) mais atuantes do município, selecionadas por meio de indicações das construtoras contactadas na etapa anterior, já que a Prefeitura de Olinda não possui o cadastramento destas.

Para explorar mais amplamente a questão dos RCC e fornecer a devida dimensão dos impactos no Aterro Controlado de Aguazinha, entrevistou-se o responsável por este local.

Depois de verificar as ações atuais praticadas pelos atores em questão, com base na técnica de observação direta intensiva, foram realizados registros fotográficos para posterior análise.

3.3. Mapeamento de depósitos irregulares de RCC

Realizou-se uma pesquisa de campo para a identificação dos diversos pontos de deposição irregular, por meio de informações de moradores do município, de empresas construtoras, de empresas coletoras e de autônomos que transportam os resíduos originados pelo setor da construção civil, além da observação direta do município.

Identificou-se os locais de depósitos ilegais e tomou-se as coordenadas geográficas com um aparelho GPS tipo GT Sound, modelo 411 – BT. Posteriormente, os pontos em questão foram plotados a partir da utilização do programa Google Earth versão 5.0.1.

Realizou-se ainda nesta fase o registro fotográfico dos pontos de deposição identificados.

3.4. Estimativa de geração de RCC

A metodologia para a estimativa de geração de RCC mais utilizada no âmbito brasileiro é a proposta pelo autor [4], a qual pode ser realizada a partir de três bases de informação:

- estimativa da área construída no município;
- transporte de RCC pelas empresas de coleta;
- deposição dos resíduos nas áreas utilizadas como destino final de RCC.

Para realização desta fase, foram coletados dados no Departamento de Controle Urbano, da Secretaria de Planejamento, Transporte e Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Olinda (SEPLAMA). Obteve-se as licenças de construção expedidas nos anos de 2006 e 2009, com suas respectivas áreas, para elaboração dos cálculos de resíduos gerados, aplicando-se taxa de geração de RCC determinada.

Em seguida, realizou-se uma visita ao Departamento de Limpeza Urbana de Olinda para coleta de informações com relação à deposição de RCC em áreas utilizadas como destino final, a fim de estimar o volume depositado destes resíduos em pontos distintos do município. Com os dados a serem fornecidos, a quantidade de RCC coletado nesses pontos foram acrescidos aos valores das demais bases de informação.

3.5. Composição dos RCC

Para a caracterização gravimétrica dos resíduos originados pela construção civil em Olinda, coletou-se 04 (quatro) amostras de RCC em depósitos clandestinos, onde cada uma delas foi recolhida em um local distinto do município, pesando 13 kg, mesmo valor utilizado por outro pesquisador, em estudo de RCC no município de Recife [2]. Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em baldes, com volume de 20 litros, identificados e transportados para um canteiro de obras de Olinda, a fim de se iniciar o ensaio propriamente dito.

As amostras de RCC foram espalhadas sobre uma lona plástica, com o objetivo de não haver mistura com o solo. Em seguida, cada amostra foi separada tátil-visualmente, por tipo de constituinte, ou seja, em concreto, tijolo, argamassa, cerâmica, material miúdo, mármore/granito, material misto (tijolo e argamassa) e outros (papel, plástico, madeira e vidro). Pesando-se, em seguida, cada constituinte, permitindo, assim, a determinação da porcentagem em massa de cada tipo de material da amostra, ou seja, a composição gravimétrica da amostra. A Figura 1 mostra os materiais já segregados.



Fig 1. Separação tátil-visual da amostra.

4. Resultados

4.1. Indicadores Básicos do Município

Fundada em 1535, o município de Olinda é considerado Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade pela UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) desde 1982, sendo uma das mais bem preservadas cidades coloniais do Brasil (Figura 02). Com uma área de 43,55 km², é a terceira maior cidade do estado de Pernambuco, possuindo 36,73 km² (98%) de área urbanizada e 6,82 km² de área rural [5]. Sua população tem 397.268 habitantes, representando 9.122,11 pessoas por km² [6].

Na Figura 2, tem-se a vista geral de um dos pontos turísticos de Olinda/PE.



Fig 2. Imagem atual de Olinda/PE [7].

Situada na região nordeste do Brasil, Olinda está distante 6 km da capital do estado de Pernambuco, Recife. Limita-se ao norte com o município de Paulista, ao sul e oeste com Recife e a leste com o Oceano Atlântico. O município está a uma altitude de 16m, seu clima é quente e úmido, com temperatura média anual de 27°C e amplitude térmica de 5°C. Sua posição geográfica é 08°01'48" de latitude e 34°51'42" de longitude.

Olinda tem sua importância não só pela história do local, mas também pela economia, visto que agrega grande valor ao PIB pernambucano, advindo do forte berço turístico que ela representa. Embora o município não possua um pólo industrial, destaca-se a importância do setor de serviços na geração de emprego e renda e para o crescimento econômico do município [8]. Segundo dados da Prefeitura de Olinda, dos 62.033 trabalhadores do município, mais da metade, 39.196 ou 63,19%, desenvolve atividades econômicas na área de serviços [5].

As belezas naturais, a cidade ainda começando a se verticalizar e a vida tranquila em Olinda tem feito com que certa parte da população procure o município como refúgio e como sinônimo de descanso. Observa-se, através dos anos, o forte crescimento populacional do município, como pode ser comprovado na análise da Figura 3 [8]. Com isso, torna-se evidente a necessidade de uma infra-estrutura para a população e proceder ao desenvolvimento de forma sustentável.

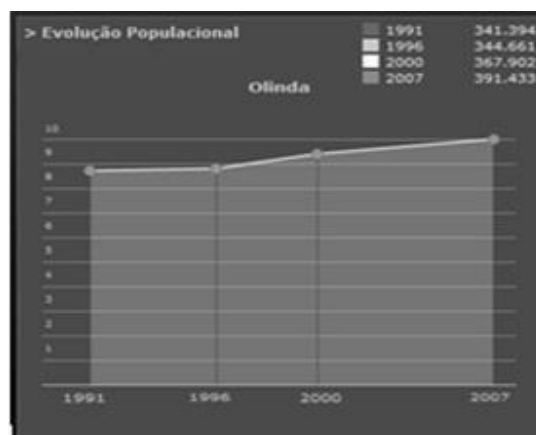


Fig 3. Crescimento populacional de Olinda [8].

4.2. Construção civil em Olinda

Para efeito deste estudo foram consideradas as informações obtidas a partir da Prefeitura de Olinda, no Departamento de Controle Urbano da SEPLAMA, das áreas licenciadas, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Áreas licenciadas para construção em Olinda.

Olinda	Parâmetros analisados	
	Área total licenciada (m²)	% licenciado (ano base 2006)
2006	38.634,11	-
2007	47.530,93	23
2008	106.477,07	176
2009	86.432,40	124

Em 2008, tomando-se como parâmetro o ano de 2006, houve um aumento na quantidade de área licenciada da ordem de 176%, o que representa um crescimento da indústria da construção civil no município 2,76 vezes maior. Em 2009, este crescimento diminui para 124% sendo um valor de grande expressão.

Observa-se um aquecimento imobiliário significativo a partir de 2008, o que demonstra um momento propício para a elaboração dessa pesquisa, face ao volume crescente de RCC gerado.

De acordo com as informações obtidas pela Diretoria de Limpeza Urbana (DLU) do município em estudo, não há lei específica para a gestão de RCC em Olinda, porém as diretrizes adotadas pela mesma são orientadas pela Resolução CONAMA nº 307 (2002).

Outro aspecto a se destacar é a falta de local para deposição final do RCC originado no município para des-

tinação/tratamento final dos resíduos gerados pelo pequeno e grande gerador, uma vez que o único aterro existente é o Aterro Controlado de Aguazinha, que recebe, desde 2003, no máximo 03 (três) caçambas de RCC por transportador, mas não possui a quantidade exata deste material depositado, pois na entrada o mesmo é registrado como “volumosos”, incluindo, materiais oriundos da conservação, como varrição e capinação, bem como algum resíduo domiciliar, se misturado.

Olinda não possui um cadastro das empresas coletoras de RCC que atuam no município. Apesar do Aterro Controlado de Aguazinha não receber RCC diretamente das empresas geradoras, a prefeitura é responsável pela coleta de resíduos depositados em pontos irregulares. Para tal recolhimento a DLU utiliza-se de empresas coletora terceirizadas, previamente cadastradas, as quais descarregam os resíduos no Aterro Controlado de Aguazinha, como volumosos, já que o material recolhido não pode se dizer que é só RCC. Diariamente, cada uma dessas empresas pode descarregar até 03(três) caçambas no Aterro do município.

A Diretoria de Limpeza Urbana recolhe diariamente até 300 litros, por unidade habitacional, de RCC ou volumosos deixados na porta da residência. Esta coleta é realizada por estas empresas coletoras terceirizadas até a quantidade já mencionada.

A quantidade de habitantes de Olinda é da ordem de 391.433, sendo atendido pelo sistema de coleta de resíduos 383.304 habitantes, que vivem na área urbana do município.

Na DLU não se tem dados referentes ao volume total de RCC gerado no município, nem da quantidade depositada em pontos irregulares e coletada pela própria prefeitura. Não há informação sistematizada dos dados. É certo que uma diminuição no volume de RCC resultaria numa diminuição dos custos operacionais do aterro e também no aumento da sua vida útil.

Não há no município a existência de política de gestão dos RCC ou uma previsão de implantação de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), nos canteiros de obras para os grandes geradores, determinado pela Resolução CONAMA nº 307.

O Aterro Controlado de Aguazinha tinha previsão de fechamento para julho/2010, porém diante da impossibilidade real do município deixar de colocar seus resíduos no aterro, este prazo foi estendido até dezembro/2010. A partir de 2011, os resíduos serão encaminhados para um aterro privado existente em Igarassu. Vale ressaltar que hoje o custo de operação mensal do aterro de Aguazinha é da ordem de R\$300.000,00 e no novo aterro (privado) esse valor será de R\$ 617.000,00, acarretando um aumento de 106%.

O Aterro de Aguazinha será transformada em uma estação de transbordo onde os caminhões que atualmente lá descarregam, descarregarão o volume de resíduos transportado em outro caminhão, de capacidade bem superior, e que transportará esses resíduos para o CTR Pernambuco, em Igarassu, visando uma diminuição nos custos de transporte.

4.3. Diagnóstico

4.3.1. Canteiro de Obra

Inicialmente, no que se refere às ações realizadas pelas empresas construtoras nos canteiros de obras do município de Olinda, o estudo buscou dados sobre a existência de certificação no PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade do Habitat) e na ISO (International Organization for Standardization) e o conhecimento da Resolução CONAMA nº 307 (2002) por parte do engenheiro responsável pela obra, para definir o nível de normatização e a conscientização sobre a gestão de RCC entre as construtoras mais significativas do município. Dentre as 04 (quatro) empresas pesquisadas, 01 (uma) possui certificação no PBQP-H, 03 (três) têm ISO e 03 (três) engenheiros conhecem a aludida resolução.

Em seguida, as construtoras foram indagadas quanto ao volume de resíduos gerados a fim de identificar se as mesmas possuíam tais informações. Destas, apenas 01 (uma) faz o controle por meio de fichas de produtividade, comparando-se o material adquirido e utilizado na obra, porém não tinha a informação sistematizada para fornecer.

Quando questionados quanto ao fornecimento de orientação aos funcionários no que diz respeito à redução de desperdícios de materiais durante a execução dos trabalhos, todos entrevistados nos canteiros de obras afirmaram oferecê-las. Já com relação às ações específicas que visem à redução de resíduos, constatou-se que apenas 02 (duas) empresas adotam alguma prática. Uma realiza o treinamento dos funcionários, na própria obra, instruindo a melhor forma de execução dos serviços a serem executados, e a outra faz o controle de espessura de fachadas e contra piso, onde há desperdício de material.

Para observar a dimensão da obra e o tratamento dado aos RCC, buscou-se a área construída (m²), o volume em m³ da caçamba ou caminhão basculante utilizado e a presença de ações como segregação dos resíduos e reaproveitamento dos mesmos na própria obra. E, a fim de facilitar a análise, compilou-se os resultados na Tabela 2.

Tabela 2. Informações sobre os canteiros de obra.

Obra	Área construída (m ²)	Segregação	Reaproveitamento dos RCC	Volume da caçamba ou caminhão basculante (m ³)
01	61.104	Sim	O material usado em aterro é reutilizado nas outras obras da própria construtora	08
02	15.000	Sim	Reutiliza a madeira, todo material possível para reaterro e cerâmica em trinchos	Não informado
03	5.486,94	Não	Reutiliza argamassa peneirada como areia	04 a 05
04	4.000	Sim	A massa única é peneirada e acrescentada na mistura do cimento para piso	06 a 08

Ressalta-se que todos os canteiros de obra são do tipo multifamiliar, pois, considerando as áreas licenciadas, são as mais significativas. O canteiro de obra 01 tem a maior área construída, pois se trata de dois blocos, com 33 pavimentos e segrega apenas madeira, vendendo-as para padarias; o 02 possui três blocos, com 14 pavimentos; o 03 tem dois blocos e tem uma proposta de implantação da coleta seletiva; e o 04 se trata de um bloco, com 15 pavimentos e segregação de resíduos Classe B, destinando o ferro, plástico, papelão para empresas de reciclagem e madeira para panificadoras.

E, finalizando esta etapa do trabalho, buscou-se informações, junto aos construtores, sobre o responsável pela coleta dos RCC da obra, e se havia conhecimento a respeito da destinação dada aos resíduos e de depósitos irregulares (Tabela 3). Vale frisar que as empresas coletoras entrevistadas nesta pesquisa foram denominadas de A e B.

Tabela 3. Empresas coletoras, destinação final e possíveis locais de depósitos irregulares.

Canteiro de obra	Empresa coletora	Destinação dos RCC	Depósitos Irregulares
01	Autônomo	Aterros legalizados	-----
02	A	-----	Próximo de canais no bairro Bultrins
03	B	-----	-----
04	B	-----	-----

4.3.2. Empresa Coletora

A Prefeitura de Olinda, de acordo com entrevista feita a DLU, não possui o cadastramento das coletoras e transportadoras que operam no município, ou seja, as mesmas não têm licença prévia para atuar no município, exceto quando são contratadas diretamente pela prefeitura para recolhimento dos entulhos encontrados em pontos clandestinos.

Durante a entrevista com a empresa coletora A foi informado que possui 11 anos de funcionamento, atua com 90 caçambas, com volume de 6m³ cada, cobrando R\$ 150,00 por caçamba. Tem 03 caminhões tipo poliguindastes, opera de segunda a sábado e coleta em média 03 caçambas por dia. Deposita os RCC no Aterro Controlado de Aguazinha ou em terrenos particulares. Não tem conhecimento sobre depósitos clandestinos e não realiza o comércio dos resíduos. Normalmente utiliza a seguinte rota até o Aterro Controlado de Aguazinha: Perimetral, Avenida Beberibe, Presidente Kennedy. A empresa coletora A afirma também que mais de 80% do material recolhido por ela em Olinda trata-se de RCC, com as participações em percentual expostas na Figura 04. E quando questionada com relação a respeito da implantação de usinas de reciclagem, a mesma se mostrou favorável, porém não possuía nenhuma sugestão.



Fig 4. Percentual de atuação da empresa coletora A de acordo com os tipos de serviços.

Já a empresa coletora B tem 13 anos de operação, com 20 funcionários, possui 150 caçambas disponíveis para o transporte de resíduos e cobra R\$ 130,00 por caçamba. Tem caminhões do tipo poliguindastes, deposita os RCC no Aterro Controlado de Aguazinha e em área particular, não licenciada, disponibilizada pelo proprietário para este fim em Camaragibe. A empresa B afirma que 90% dos materiais coletados são RCC, com participação em percentual mostrada na Figura 4.



Fig 5. Percentual de atuação da empresa coletora B de acordo com os tipos de serviços.

4.3.3. Destinação final

O município de Olinda possui um aterro controlado chamado de Aguazinha, situado na zona norte da Região Metropolitana do Recife, possuindo uma área de 19 hectares. É responsável por receber os resíduos coletados pela prefeitura, aproximadamente 450 toneladas por dia, entre matéria orgânica (resíduos domiciliares), volumosos (entulhos e raspagem), recicláveis (vidro, plástico, metal e outros), acumulando aproximadamente 12.000,00 toneladas/mês. O material proveniente da poda é depositado em área separada para retirada de galhos mais grossos, utilizados como lenhas, e o restante dos resíduos é levado para as células. É dito que o Aterro Controlado de Aguazinha não recebe RCC, porém sabe-se que ele entra no aterro como material volumoso, segundo informações do engenheiro residente do local.

O serviço de coleta de resíduos atende aproximadamente 90% da população de Olinda, a urbana. O material chega ao aterro de Aguazinha através de caminhões de empresa contratada para executar o serviço regular de limpeza urbana da cidade e também de outras empresas terceirizadas que trabalham no município diretamente contratadas

pelos grandes geradores. As empresas particulares pagam para depositar os resíduos em Aguazinha.

A presença do Grupo de Resíduos Sólidos (GRS) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) é um dos pontos fortes para o gerenciamento, tornando a parte operacional do aterro tão boa quanto a de um aterro privado.

4.4. Mapeamento dos pontos irregulares

Nesta etapa da pesquisa, realizada durante o primeiro semestre de 2010, foram identificados 30 pontos de deposição irregular de RCC, encontrados, normalmente, em áreas de preservação ambiental, como mangues e lagoas; cursos d'água; vias públicas; e próximo a construções habitacionais ilegais de populações de baixa renda.

Na Figura 5 é apresentado o mapa do município de Olinda, com a localização dos 30 (trinta) pontos de deposição ilegal, em amarelo. Em vermelho, estão identificados os 04 pontos irregulares, de maior volume, nos quais foram realizadas coletas de amostras de RCC para o ensaio de composição gravimétrica.



Fig 5. Localização dos pontos de deposição clandestina [9].

4.5. Estimativa de geração de RCC

Em uma das obras visitadas foi possível coletar a informação de dados de geração de RCC de outra obra da

mesma construtora, que estava em fase de entrega e por isso foi possível condensar as informações.

A obra estudada é uma edificação vertical, de uso multifamiliar, com área construída de 6.042,43 m² (19 pavimentos tipo, com 2 apartamentos por andar, e mais 2 pavimentos de garagem). Foram utilizadas 128 caçambas com resíduos, as quais possuíam 5m³ de volume cada. Com isso, o volume gerado de resíduos foi da ordem de 640 m³, ou seja, para cada m² de área construída, gera-se 0,11 m³ de resíduo.

Considerando o peso específico do resíduo de 1,4 ton./m³ [2], tem-se que:

$$640 \text{ m}^3 \times 1,4 \text{ ton/m}^3 = 896 \text{ toneladas de resíduo.}$$

Logo, a taxa de geração da obra pesquisada foi de:

$$TG = \frac{896.000}{6042,43} = 148,28 \text{ kg/m}^2,$$

sendo TG = taxa de geração.

A taxa de geração encontrada de 148,28 Kg/m² de área construída está muito próxima dos valores apresentados em [3], ou seja, 150,00 Kg/m².

A estimativa da geração de resíduo por m² construído possibilitou determinar a geração de RCC ao longo dos anos, a partir do licenciamento para construção no município.

Para o cálculo do volume de resíduos gerados, a Taxa de Geração encontrada foi utilizada para os anos de 2006 a 2009.

Utilizando-se desta metodologia, e com os dados coletados das áreas licenciadas dos anos de 2006 a 2009, foi possível estimar o quantitativo de RCC gerado ao longo do ano, do mês e/ou dia, conforme Tabela 4.

Tabela 4. Geração estimada de RCC por área licenciada para construção.

Parâmetros analisados	Olinda			
	2006	2007	2008	2009
Área total licenciada (m ²)	38.634,11	47.530,93	106.477,07	86.432,40
Taxa de geração RCC (Kg/m ²)	148,28	148,28	148,28	148,28
Geração de RCC (ton/ano)	5.728,67	7.047,89	15.788,42	12.816,20
Geração de RCC (ton/mês)	477,39	587,32	1.315,70	1.068,02
Geração de RCC (ton/dia)	18,36	22,59	50,60	41,08

As obras licenciadas no ano de 2009 devem gerar um volume de RCC da ordem de 12.816,20 ton, que precisa ter monitoramento do seu destino final.

4.6. Composição dos RCC

A composição das amostras foi determinada a partir da coleta de amostras em 04 (quatro) pontos distintos da cidade de deposição irregular, conforme indicados na Figura 5. Elas foram coletadas manualmente, e procurando-se obter uma amostra representativa.

Depois, essas amostras foram pesadas e segregadas da seguinte forma: concreto; argamassas; cerâmicas (telhas e tijolos); revestimentos; madeira e outros (plásticos, metais, dentre outros).

Inicialmente, verificou-se os pesos de cada elemento e em seguida calculou-se os seus percentuais. Foi feita uma média aritmética dos resultados encontrados e elaborada a Figura 6.

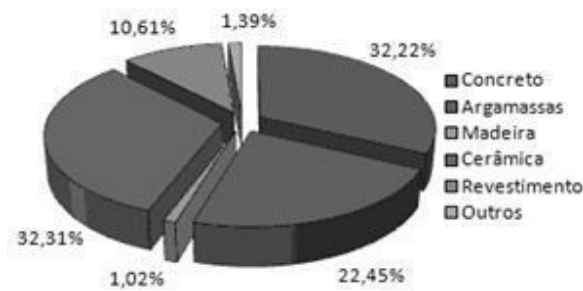


Fig 6. Composição gravimétrica do RCC em Olinda/PE.

É possível verificar, nas amostras, um grande percentual de concreto (32,22%) e argamassa (22,45%). Material nobre e de alta representatividade no custo final das obras, este elemento necessita ser reutilizado no processo construtivo das obras, justificando estudos especiais para o seu reaproveitamento, em função do alto índice de perda associado. Os demais elementos, como os materiais cerâmicos (32,31%) e os revestimentos (10,61%) também com altos índices de perdas, justificam a necessidade de desenvolvimento de tecnologias que promovam a redução de suas perdas, além da reutilização e reciclagem, como medida de redução de custos e dos impactos ambientais gerados com a produção desse RCC.

Resultados semelhantes, no que se refere ao percentual de concreto e argamassa, foram encontrados por [10] com 69% em São Carlos, 33% em São Paulo, 59% em Ribeirão Preto e 53% em Salvador e [2] com 38% em Recife.

5. Considerações finais

Assim como grande parte dos municípios brasileiros, Olinda está distante de solucionar os problemas decorrentes dos resíduos da construção civil. A falta de definição de local apropriado para destinação final dos resíduos, por parte do município, acarreta em deposições clandestinas espalhadas por toda a cidade, provocando grandes impactos ambientais, sociais e problemas de limpeza pública. Outro ponto a ressaltar é a falta de conhecimento dos volumes de resíduos produzidos pelos grandes geradores, ou seja, os construtores que desenvolvem suas atividades em Olinda/PE. Estudos relativos à gestão dos resíduos da construção civil são preponderantes à administração do município.

A análise do setor da construção civil dos últimos anos no município de Olinda, observado através das áreas de construção licenciadas, tem mostrado tendências de crescimento urbano com conseqüente aumento na produção de resíduos.

De acordo com os resultados obtidos no diagnóstico da situação dos RCC em Olinda, conclui-se que a falta de informações tanto por parte dos órgãos municipais responsáveis pelo gerenciamento dos resíduos, bem como por parte das empresas construtoras, grandes geradoras de RCC, principalmente com relação às quantidades geradas e o monitoramento da sua destinação final, torna difícil programar ações que visem a um crescimento sustentável do município.

Há necessidade de se fornecer elementos à população em geral, visando proporcionar um autodesenvolvimento de conscientização ambiental, primordial para a iniciação de passos que demonstrem o tamanho da questão abordada.

Referências

- [1] J.C., Marques Neto. Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil. São Carlos: Rima, 2005.
- [2] F.P., Carneiro. Diagnóstico e Ações da Atual Situação dos Resíduos de Construção e Demolição na Cidade do Recife. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.
- [3] A.D., Gusmão. Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil. Recife/PE. Gráfica Editora, 2008.
- [4] T.P., Pinto. Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- [5] Site da Internet: <http://www.olinda.pe.gov.br/>. Visitado pela última vez em 01/08/2010.
- [6] Site da Internet: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/>. Visitado pela última vez em 16/04/2010.
- [7] Site da Internet: http://www.casadacultura.org.br/pe/olinda/Olinda_cidade_predios/12_OlindaVistaGera_grd.jpg. Visitado pela última vez em 01/08/2010.
- [8] Site da Internet: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=260960>. Visitado pela última vez em 01/08/2010.

Novembro 1996.

- [9] Site da Internet:
<http://maps.google.com.br/maps?hl=ptBR&q=olinda%20pe&um=1&ie=UTF-8&sa=N&tab=wl>.
Visitado pela última vez em 01/08/2010.
- [10] A.P., Carneiro, B.C.E. Quadros, A.M.V. Oliveira, A.S. Brum, T.S. Sampaio, E.P.V. Alberte, e D.B. Costa, D.B. Características do Entulho e do Agregado Reciclado. In: CASSA, J. C. S.; CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S. Reciclagem de Entulho para Produção de Materiais de Construção: Projeto Entulho Bom . Salvador: EDUFBA/Caixa Econômica Federal, Cap. V, p. 142 – 187, 2001.

Estudo da Interação Solo-Estrutura em um edifício com Patologias de Fundações na Região Metropolitana do Recife

Cavalcanti, C. S.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
camixmila@hotmail.com

Gumão, A. D.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
gusmao@ig.com.br

Sukar, S. F.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
sfucalc@yahoo.com.br

Resumo

O artigo apresenta um caso real de monitoramento dos recalques, onde a medição dos recalques permitiu identificar o mau desempenho das fundações de um edifício com 26 lajes construído na Região Metropolitana do Recife – RMR. A partir dos resultados do monitoramento do prédio, foi concebido e executado um reforço para as suas fundações. O reforço foi feito com o prédio ocupado e a estabilização dos recalques foi conseguida..

Abstract

The paper presents a real case of monitoring settlements, where the measurement of the settlements identified the bad performance of the foundations of a building with 26 stories building in the Metropolitan Area of Recife. From the results of monitoring of the building was designed and implemented a reinforcement to its foundations. The reinforcement was made with the building occupied and stabilization of settlements was achieved.

1 Introdução

Morfologicamente a Cidade do Recife apresenta duas paisagens muito distintas: os morros e a planície. A ocupação da cidade com edificações de grande porte tem se dado, contudo, apenas no espaço confinado entre os morros e a orla marítima, que se constitui em uma grande planície de origem flúvio-marinha. Neste contexto geológico, o subsolo típico é muito variado. Encontram-se camadas de areia fina e média, de compactidade fofa, intercaladas ou seguidas por outras, seja de argila orgânica mole, seja de areia muito compacta ou arenitos bem consolidados. Os depósitos de argila orgânica mole e média são encontrados em cerca de 50% da área da planície, muitas vezes em sub-superfície e com espessuras superiores a 15m [1].

Por tudo isto, a prática atual de fundações no Recife é fortemente direcionada pelas características geológico-geotécnicas do subsolo, ainda que outros fatores influenciem na escolha e sejam assim encontrados diversos tipos de fundação na cidade [2].

Em função dessa diversidade de perfis geotécnicos presentes na RMR, tem sido prática usual o monitoramento dos recalques de edifícios. Para se conseguir a desmistificação da medição dos recalques, algumas estratégias de convencimento têm sido apresentadas aos construtores: (i) o monitoramento deve ser encarado como um controle tecnológico da obra, a exemplo de tantos outros, como o controle da resistência do concreto; (ii) o monitoramento permite um melhor entendimento do comportamento de uma edificação, e uma retroanálise dos parâmetros dos solos, o que tem conduzido a projetos mais arrojados (e nem por isso menos seguros); (iii) o monitoramento permite identificar com mais segurança as causas de patologias que possam surgir nos prédios, onde normalmente a fundação é colocada em suspeita [3].

Este artigo apresenta um caso de monitoramento dos recalques, onde a instrumentação permitiu identificar o mau desempenho das fundações de um edifício com 26 lajes construído na orla de Jaboatão dos Guararapes, na RMR. A partir dos resultados do monitoramento do prédio, foi concebido e executado um reforço para as suas fundações.

2. Caracterização da Estrutura

Trata-se de uma estrutura aporticada de concreto armado com 26 lajes e 62 pilares, sendo 18 na lâmina e 44 na periferia. As cargas verticais permanentes nos pilares da lâmina variam de 3676 a 21705kN, enquanto que na periferia variam de 100 a 1870kN. Há ainda esforços devido à ação do vento na estrutura.

Há um pavimento semi-enterrado na cota -1,90m em relação ao nível de meio fio da avenida principal da orla. As fundações projetadas e executadas são superficiais do tipo sapatas isoladas ou associadas, assentes no terreno natural na cota -4,40.

3. Caracterização do Terreno de Fundação

Durante a fase de projeto do edifício, foram feitas várias sondagens de reconhecimento mistas (SPT e rotativa). As Figuras 1 e 2 mostram duas sondagens típicas do terreno, onde pode ser observada a presença de uma espessa camada de argila siltosa com matéria orgânica (ou silte argiloso), cinza escuro, muito mole a mole, entre as cotas -14,50 a -24,00.

O nível d'água freático aparece entre as cotas -3,50 e -4,50. Alguns fatos relevantes observados nas sondagens devem ser ressaltados: (i) a espessura do arenito diminui na direção da praia (leste) e na direção sul; (ii) na parte sudeste da área da lâmina, praticamente o arenito desaparece; (iii) apenas a Sondagem SP01 apresenta uma baixa resistência a penetração (NSPT) na cota de fundação (-4,40), o que pode indicar a presença de um bolsão de areia fofa na parte sudeste do terreno.

A Figura 3 apresenta a fôrma das sapatas da lâmina do prédio. Observa-se que as sapatas dos pilares P2 a P8 apresentam um formato pouco usual para sapatas. A taxa de trabalho das sapatas é da ordem de 450kPa para o carregamento sem a ação do vento.

4. Histórico

O prédio foi construído no final da Década de 80 (provavelmente entre 1987 e 1990), e sua ocupação pelos moradores foi iniciada no início da década de 90.

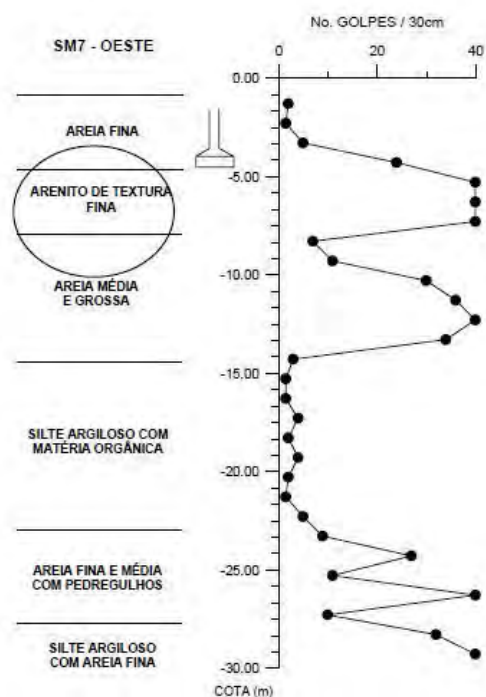


Fig. 1. Sondagem de reconhecimento – Lado Oeste.

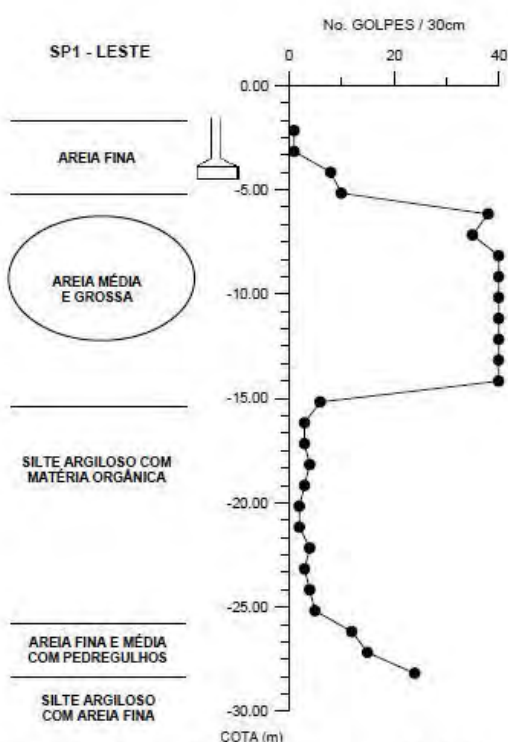


Fig. 2. Sondagem de reconhecimento – Lado Leste.

Segundo relatos contidos nos relatórios e entrevistas com alguns moradores, os danos no prédio começaram a surgir desde o início da sua ocupação. Desde, então, estes danos foram se agravando, especialmente nos dois pavimentos inferiores de garagem e no mezanino.

Os danos incluíam fissuras e trincas em alvenarias, vigas, lajes e pilares, além de um acentuado desaprumo do prédio nas direções leste e sul.

A partir de 1992 o prédio começou a ser monitorado com medições periódicas de recalques edesaprumo das fachadas. Além disto, havia um acompanhamento da evolução de algumas fissuras.

A Figura 4 mostra a curva de evolução dos recalques dos pilares da lâmina entre 1992 e 2002. Observa-se que os recalques absolutos variaram de 74,4 a 123,3mm na última medição (21/08/2002), e que as leituras não mostravam uma tendência de estabilização. Nesse período, a velocidade parcial de recalques se manteve praticamente constante ao longo daqueles 10 anos, com valor aproximado de 25µm/dia, que corresponde a 9,1mm/ano [2].

A Figura 5 mostra as curvas de isorecalques medidas na última medição. Observa-se que os maiores recalques ocorreram nos pilares localizados na área leste e sul do terreno (P11, P14, P16 e P18), e com isso houve um desaprumo do prédio.

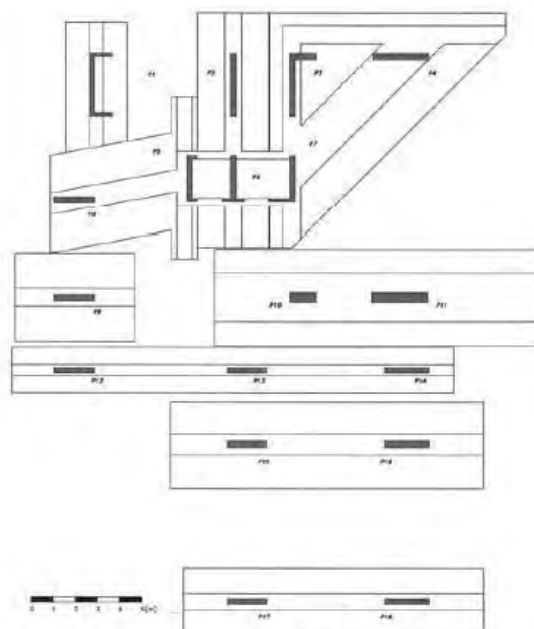


Fig.3. Fôrma das sapatas da lâmina do prédio.

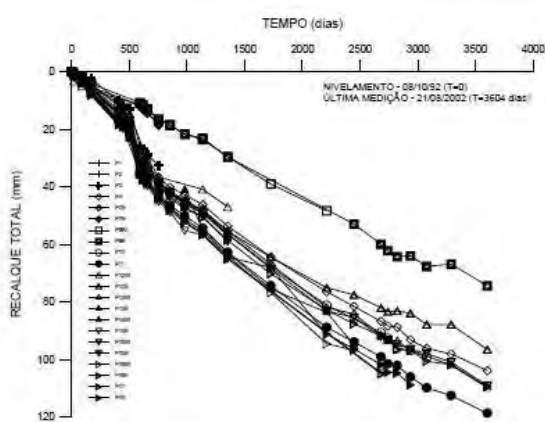


Fig. 4. Evolução dos recalques da lâmina do prédio entre 1992 e 2002.

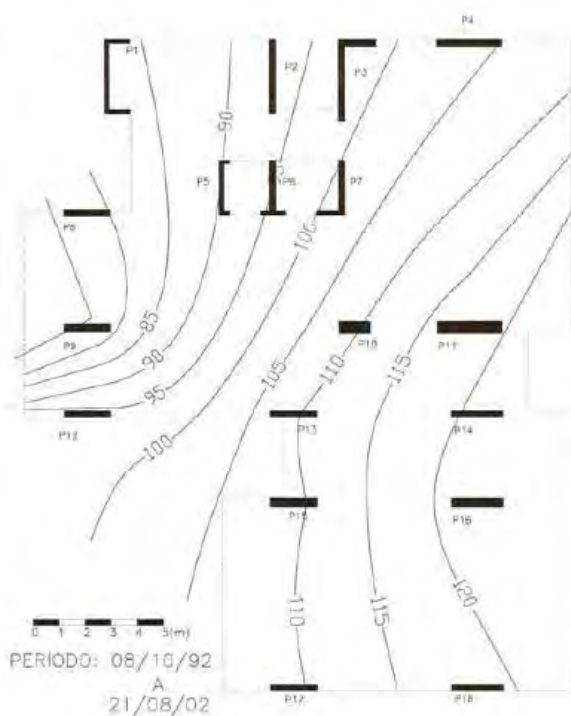


Fig. 5. Curvas de isorecalques da lâmina do prédio na última medição – antes do reforço (21/08/2002).

A Figura 6 mostra a evolução do desaprumo do prédio entre 1998 e 2000. Observa-se que houve um crescimento praticamente linear do desaprumo, cujo valor na direção leste (1/175) já era superior a 1/200, que normalmente é considerado como limite para estruturas desse tipo.

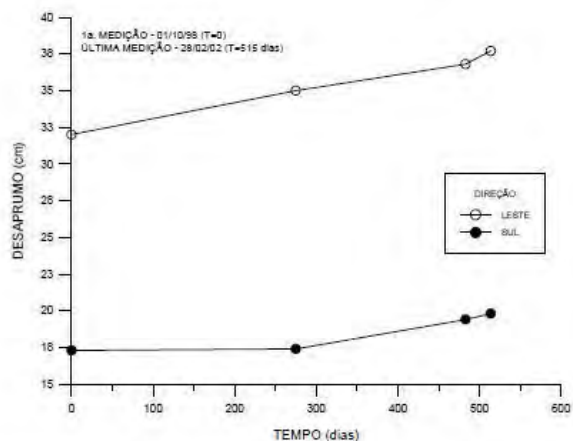


Fig. 6. Evolução do desaprumo do prédio entre 1998 e 2000 – antes do reforço.

É importante ressaltar que o excessivo desaprumo provoca uma translação do centro de gravidade do prédio para a sua frente, o que faz com que haja uma redistribuição de cargas na fundação do prédio. O acréscimo de carga nos pilares da frente do edifício pode ocasionar novos recalques diferenciais não previstos, aumentando ainda mais o desaprumo do prédio, e vice versa.

5. Diagnóstico

Com o objetivo de estabelecer um diagnóstico para os problemas que tinham surgido no prédio, foi feito um levantamento completo dos danos surgidos na edificação, especialmente nos dois pavimentos de garagem e no mezanino.

O levantamento mostrou que a maior parte dos danos com fissuras se localizava nos pavimentos de garagem, especialmente no trecho de ligação da torre do prédio com a sua periferia.

Diante do quadro de danos e dos resultados do monitoramento do prédio, concluiu-se que o diagnóstico era que a torre do prédio recalcou mais que a periferia, e que os pilares localizados na área leste e sul do terreno (P11, P14, P16 e P18), recalcaram mais que os demais, fazendo com que houvesse um desaprumo da estrutura da torre nas direções leste e sul. Como as estruturas da torre e da periferia estavam ligadas sem qualquer tipo de junta, houve um desaprumo da periferia no sentido inverso ao da torre, ou seja, nos sentidos oeste e norte (Fig. 7). Este mecanismo de movimentação do prédio justificou o aparecimento de todos os danos observados.

No ano de 2002, após uma negociação com o condomínio do edifício, a construtora ficou responsável pela execução do reforço das fundações do prédio, para permitir a estabilização dos seus recalques.

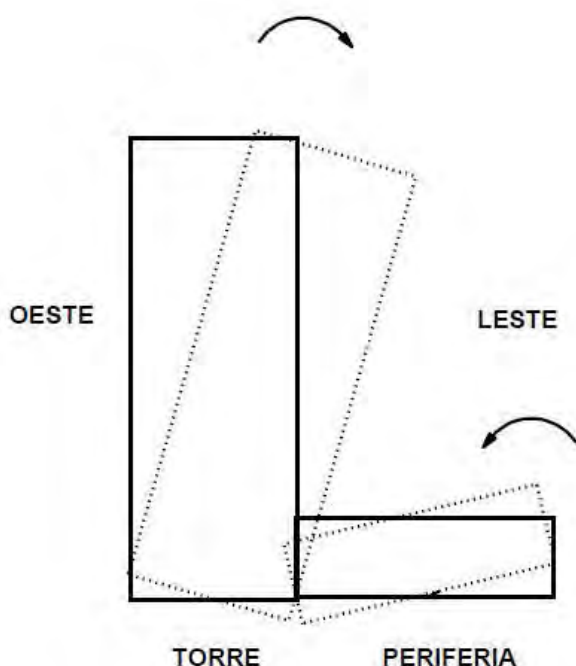


Fig. 7. Mecanismo de desaprumo da estrutura.

6. Reforço das Fundações

Inicialmente o projeto de reforço das fundações foi concebido com 172 estacas metálicas compostas por tubos vazados de 168mm de diâmetro e 30m de comprimento.

No sentido de se aferir a capacidade de carga das estacas de reforço, bem como as condições de sua execução, foi executada uma estaca piloto para a realização de uma prova de carga estática. A sua execução, no entanto, apresentou vários problemas (cravação, soldagem, etc), além de uma baixa produtividade (cerca de 8m por dia).

Com isso, essa alternativa foi descartada e foi concebida uma nova solução de reforço, só que com microestacas injetadas. Tais estacas são do tipo autoperfurantes e consistem de barras trefiladas com um furo central em toda a sua extensão. Essas barras são unidas por luvas reforçadas, tendo em sua extremidade uma broca tricônea reforçada com widea

para perfuração de rochas brandas (arenito / calcáreo) e, com orifícios para injeção de calda de cimento.

A perfuração é executada concomitantemente com a injeção de calda de cimento através de processo rotativo, controlando-se a pressão, rotação e o avanço da composição, podendo reaproveitar a calda de cimento, proveniente da perfuração de arenitos e das camadas arenosas. Ao se atingir o comprimento final de perfuração, a microestaca estará pronta, acabada, devendo-se apenas aguardar o tempo de cura da calda de cimento para se executar a sua incorporação à estrutura.

Devido às características das fundações existentes e do subsolo, nos locais previstos para as microestacas foram executados furos nos blocos de elevação e nas sapatas de concreto armado. Esses furos foram executados com equipamentos especiais, providos de motores de alta rotação e embreagem eletrônica, de modo a permitir que coroas diamantadas perfurem o concreto e cortem as barras de aço.

Concluída a perfuração das peças de concreto, foram executadas perfurações no arenito existente no subsolo com o auxílio de brocas tricônicas e sapatas de widea com diversos diamantes crescentes, até se atingir o diâmetro estipulado no projeto (260mm).

Foi, então, executada uma microestaca piloto com cerca de 28m de comprimento, onde foi realizada uma prova de carga a compressão. A prova de carga foi levada até uma carga máxima de compressão de 1979kN, onde apresentou sinais de ruptura (Fig. 8).

Diante de tal resultado e do fato do problema do prédio não se tratar de instabilidade das fundações, mas de recalques excessivos, foi fixado um fator de segurança global de ruptura da estaca de 1,70 e uma carga admissível de 1150kN. Ressalta-se pela curva carga-recalque, para a estaca mobilizar essa resistência de 1150kN o recalque necessário foi de 5mm.

A concepção inicial do projeto previa o reforço das fundações de todos os pilares da lâmina do prédio. Posteriormente, em função de discussões técnicas entre os diferentes profissionais envolvidos, ficou definido que o reforço deveria ser executado em duas etapas:

- 1ª etapa: contemplava as sapatas SP (17+18), SP (15+16), SP (12+13+14), SP (10+11) e SP9.
- 2ª etapa: contemplaria as sapatas dos pilares P1 a P8, e só seria executada se a 1ª etapa não conduzisse à estabilização dos recalques do prédio.

Para o cálculo das cargas atuantes nas estacas, foram considerados os cenários de carregamento permanente e de atuação do vento em ambas as direções. Para a distribuição das estacas apresentada no projeto, a carga máxima nas estacas foi igual a 1215kN, ou seja, cerca de 6% acima da carga nominal de projeto fixada *a priori*. Como se tratava de um cenário com carregamento transitório, este valor foi considerado como aceitável.

Finalmente, para a definição da ordem de reforço das sapatas, foi feita uma análise de interação soloestrutura considerando-se os recalques medidos. Essa análise permitiu que fosse estabelecida uma ordem de execução das estacas que evitasse a formação de “núcleos de grande rigidez”, e que pudesse concentrar o carregamento do prédio em poucos pilares.

O projeto executivo de reforço previu as seguintes etapas (Figuras 9, 10 e 11):

- Execução de bloco de elevação em concreto simples para permitir a subida do equipamento de execução das estacas, evitando o rebaixamento do nível d'água freático.
- Furação nas lajes das sapatas para ancoragem/colagem dos tirantes.
- Furação na lateral das vigas para ancoragem/colagem dos grampos.
- Execução das estacas, precedida da furação do concreto das lajes das sapatas e arenito.
- Execução dos tirantes, grampos e armadura complementar do bloco de incorporação, seguida da sua concretagem segundo uma ordem pré-estabelecida pela análise de interação solo-estrutura.

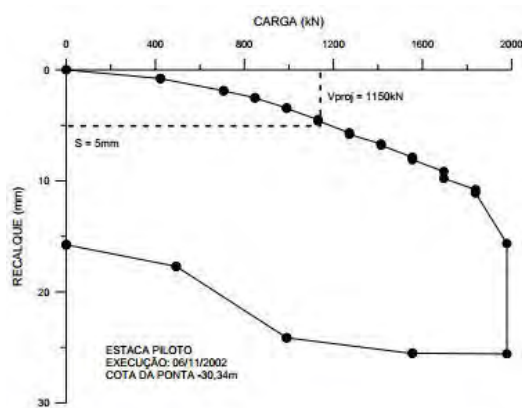


Fig. 8. Prova de carga a compressão na estaca piloto.

Foram executadas 102 estacas no período de 21/07/2004 a 19/04/2005, dentro das especificações do projeto. Todas as etapas do reforço foram executadas com o prédio em uso pelos moradores, interditando-se apenas o pavimento semi-enterrado por questões de logística. A Tabela 1 mostra as datas de finalização da incorporação dos blocos às sapatas existentes (22/12/2004 a 23/05/2005).

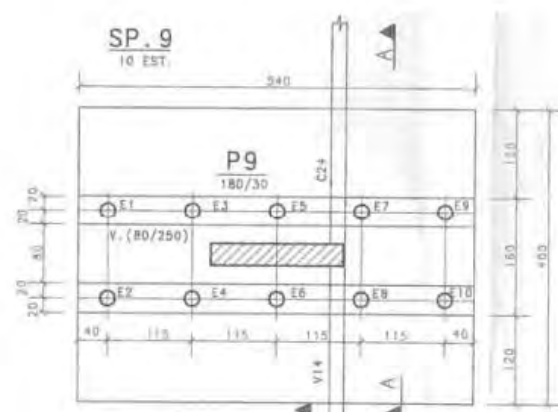


Fig. 9. Reforço da sapata P9 (Planta).

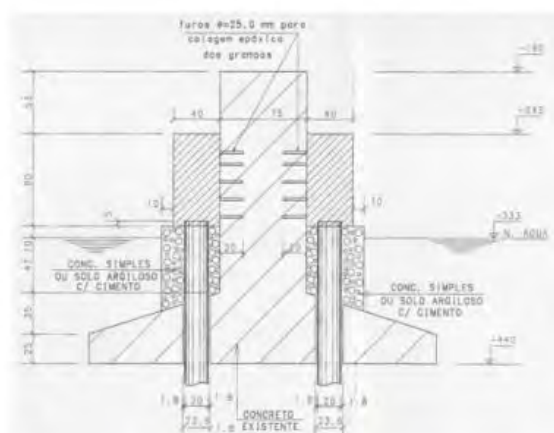


Fig. 10. Reforço da sapata P9 (Corte).

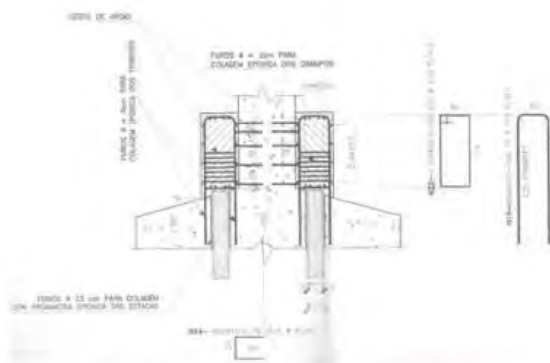


Fig. 11. Armação do reforço da sapata P9.

Tabela 1. Concretagem dos blocos.

Bloco	Número de Estacas	Data da Concretagem
P17+P18	18	22/12/04
P15+P16	26	14/01/05
P13+P14	12	17/02/05
P9	10	07/04/05
P12	06	07/04/05
P10+P11	30	23/05/05

7. Monitoramento

Antes do início da execução do reforço das fundações, o prédio já vinha sendo monitorado com medições de recalques. No entanto, foi necessária a instalação de novos pinos em todos os pilares da lâmina, pois alguns já estavam danificados. Houve ainda uma descontinuidade do monitoramento entre 21/08/2002 e 29/09/2003.

A Figura 12 apresenta a evolução dos recalques dos pilares da lâmina desde o início do reforço das fundações, enquanto a Figura 13 apresenta as curvas de isorecalques referentes ao período entre 2003 e 2008.

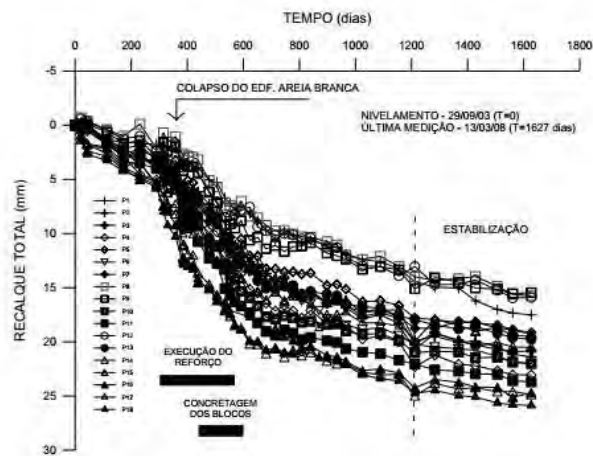


Fig. 9. Evolução dos recalques da lâmina do prédio entre 2003 e 2008.

Notam-se alguns fatos bastante relevantes:

- Na fase de execução das estacas, houve uma aceleração dos recalques, decorrente do desconfinamento do terreno, bem como das injeções. Isso também foi observado em outras obras que tiveram reforço das fundações
- A estabilização dos recalques só ocorreu após um período aproximado de 600 dias depois da concretagem dos blocos, com o início da incorporação das estacas. O recalque médio nesse período foi de 7mm, ou seja, muito próximo do recalque necessário à mobilização da carga de projeto das estacas (5mm).

Durante toda a execução do reforço, foi feito o monitoramento dos recalques. A frequência das leituras era alterada em função dos próprios resultados obtidos.

Também foi feito um acompanhamento das principais fissuras pelo engenheiro residente do condomínio do prédio. Após a estabilização dos recalques, observou-se que os danos existentes não mais evoluíram. Atualmente estão sendo recuperadas as fissuras e trincas nas vigas, lajes e paredes.



Fig. 13. Curvas de isorecalques da lâmina do prédio na última medição – após o reforço (13/03/2008).

8. Conclusões

O artigo apresenta um caso real de monitoramento dos recalques, onde a instrumentação permitiu identificar o mau desempenho das fundações de um edifício na RMR com 26 lajes. A partir dos resultados do monitoramento do prédio, foi concebido e executado um reforço para as suas fundações. O reforço foi feito com o prédio ocupado e a estabilização dos recalques foi conseguida.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao condomínio do prédio pela permissão do uso dos dados para a pesquisa, bem como aos engenheiros envolvidos no projeto, execução e monitoramento do reforço das fundações. E também à Escola Politécnica – UPE pela concessão da bolsa.

Referências

- [1] A.D. Gusmão, *Prática de Fundações no Recife*. Em Gusmão, A. D.; Gusmão Filho, J. A.; Oliveira, J. T. R.

e Maia, G. B. (Org.). *Geotecnia no Nordeste*. Recife, vol. 1, p. 225-246, 2007

- [2] A.D. Gusmão, “Desempenho de Fundações de Edificações”, XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Curitiba, 2006

- [3] J.A. Gusmão Filho, *Fundações: do Conhecimento Geológico à Prática da Engenharia*, Editora da UFPE, Recife, 1998.

Estudo Experimental do Emprego do Resíduo de Construção e Demolição em Solo-Cimento

Viana, C. B.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
cybelle.viana@yahoo.com.br

Lafayette, K. P. V.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo *A necessidade de preservação ambiental e a tendência de escassez dos recursos naturais, associada a uma geração exacerbada de Resíduos da Construção e Demolição, fazem com que a construção civil adquira novos conceitos e soluções técnicas visando a sustentabilidade de suas atividades. Neste trabalho são apresentados resultados de ensaios de laboratório, através dos quais se objetivou avaliar a possibilidade de aproveitamento dos resíduos de concreto na confecção de tijolos prensados de solo-cimento. Foram realizados ensaios de caracterização do solo utilizado, das composições desse solo com resíduos de concreto e das misturas de solo-cimento produzidas com essas composições. Conforme resultado de ensaios realizados em corpos-de-prova cilíndricos, verificou-se que adição dos resíduos proporcionou melhorias nas propriedades mecânicas do solo-cimento, favorecendo a redução do consumo de cimento, do custo de produção, além de contribuir no sentido de reduzir o volume de material descartado na natureza*

Palavras-chave: *Resíduos da Construção e Demolição. Tijolos de Solo-Cimento. Desenvolvimento Sustentável.*

Abstract *The need for environmental preservation and the tendency of natural resource scarcity, coupled with an exaggerated generation of Construction and Demolition Waste, cause the building to acquire new concepts and technical solutions for the sustainability of their activities. This paper presents results of laboratory tests, through which it aimed to evaluate the possibility of recovery of waste in the manufacture of concrete bricks pressed soil-cement. Assays were performed to characterize the soil used, the compositions of soil and concrete waste soil-cement mixtures produced with these compositions. As a result of tests on body-cylinder specimens, it was found that the residue provided improvements in the mechanical properties of soil cement, favoring the reduction in cement consumption, production cost, and contribute towards reducing the volume of discarded material in nature.*

1 Introdução

A partir da década de 80, o grande acúmulo de resíduos se transformou em um grave problema urbano, com gerenciamento oneroso, causado pela intensa industrialização, advento de novas tecnologias, crescimento populacional e aumento de pessoas em centros urbanos. O problema se caracteriza por escassez de área para disposição dos resíduos, causadas pela ocupação e valorização de áreas urbanas, problemas de saneamento público e contaminação ambiental. (JOHN, 2000) [1].

Atualmente, a disposição indiscriminada dos resíduos da construção em aterros ou em bota-foras, vem recebendo maior preocupação em relação ao meio ambiente e a qualidade de vida das cidades. Nesse contexto, o desperdício na construção civil vem sendo combatido com a qualificação da mão-de-obra, maior controle na aplicação dos materiais e projetos executivos melhor detalhados. Este pequeno avanço, no entanto, não torna inevitável a geração de entulhos.

A fabricação de tijolos prensados de solo-cimento com adição de RCD pode contribuir para reduzir o volume de materiais descartados na natureza, além de diminuir a exploração dos recursos naturais e contribuir com o sequestro do carbono. Na produção de tijolos de solo-cimento são utilizados os seguintes materiais: solo, cimento e água. As vantagens da utilização dos tijolos de solo-cimento vão desde a fabricação até sua utilização no canteiro de obras.

Neste trabalho será analisada a viabilidade da aplicação do resíduo de concreto reciclado como agregado no composto solo-cimento. Objetiva-se com isso melhorar a qualidade dos tijolos de solo-cimento e, consequentemente, reduzir os custos e contribuir para a sustentabilidade do planeta.

2 Solo-Cimento

Segundo a ABCP (1999) [2], o solo-cimento é o produto resultante da mistura íntima de solo, cimento portland e água que, compactados na umidade ótima e sob a máxima massa específica seca, em proporções previamente estabelecidas, adquire resistência e durabilidade através das reações de hidratação do cimento. Os principais fatores que afetam a propriedades do solo-cimento são: tipo de solo, teor do cimento, teor de umidade, compactação e homogeneidade da mistura, além da idade e do processo de cura.

A conceituação do solo-cimento teve origem em Sallsburg no ano de 1917, entretanto, havia poucos relatos até

1932, quando se teve notícia dos primeiros trabalhos cientificamente controlados, como por exemplo, a pavimentação de 17.000m² em Johnsonville, Carolina do Sul, EUA (ANDRADE FILHO, 1989) [3]. O interesse pelo assunto no Brasil se deu a partir de 1936, através da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, que regulamentou e pesquisou sua aplicação. Segundo Ferraz (2004) [4], o emprego deste material em edificações foi iniciado no Brasil em 1948, com a construção das casas do Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis – RJ. Desde então, a experiência brasileira vem sendo bastante ampliada, com aplicação de novas técnicas construtivas, avanços na tecnologia dos materiais e aprimoramento dos equipamentos de produção.

Segantini (2000) [5] afirma que, quanto a granulometria, os solos arenosos são mais apropriados para a confecção do solo-cimento. A existência de grãos de areia grossa e de pedregulhos é altamente benéfica, pois são materiais inertes com função apenas de enchimento. Isso favorece a liberação de quantidades maiores de cimento para aglomerar os grãos menores. Os solos devem também ter um teor mínimo da fração fina, pois a resistência inicial do solo-cimento é devida à coesão da fração fina compactada.

De acordo com ABCP (1999) [2], a dosagem do solo-cimento deve ser feita por meio de ensaios de laboratório, passando pela análise e interpretação dos resultados com base em critérios pré-estabelecidos. O resultado final consiste na fixação de três parâmetros: quantidade de cimento, quantidade de água e massa específica aparente seca máxima. Os dois últimos sofrem pequenas oscilações em função das variações que ocorrem nas características do solo. Assim, o objetivo da dosagem passou a ser somente a fixação da quantidade adequada de cimento, de acordo com tabela 1.

Tabela 1. Teores de Cimento (ABNT, 1999).

Classificação HRB	Teor de Cimento (%)
A1a	5
A1b	6
A2	7
A3	8
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

3. Desenvolvimento Sustentável

A adoção de uma política de incentivo para o reaproveitamento dos bens minerais descartados pelas obras civis pode reduzir a quantidade de minerais extraídos das jazidas e, conseqüentemente, diminuir o impacto ambiental por meio da reutilização e da reciclagem dos rejeitos minerais.

O relatório da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, constituída pela Organização das Nações unidas – ONU, divulgado em 1987 com o título de Nosso Futuro Comum ou Relatório *Brundtland*, representou um marco no enfrentamento da questão ambiental, ao propor a perspectiva de busca do chamado desenvolvimento sustentável, ou seja, um desenvolvimento que permita à humanidade “usufruir os recursos naturais sem comprometer a possibilidade de que as gerações futuras também possam fazê-lo” (BITAR, 1999) [6]

A necessidade de preservação ambiental e a tendência de escassez dos recursos naturais fazem com que a construção civil adquira novos conceitos e soluções técnicas visando a sustentabilidade de suas atividades. Neste contexto, o aproveitamento dos resíduos de construção e demolição (RCD) destaca-se como alternativa alinhada a estes novos conceitos, buscando valorizar os materiais descartados nas obras de engenharia, atribuindo-lhes a condição de material nobre, em vez de simplesmente lançá-los na natureza (FERRAZ, 2004) [4].

A Resolução CONAMA 307, aprovada em 2002 [7] criou instrumentos para a superação dos problemas gerados pelos resíduos de construção e demolição, definindo responsabilidade e deveres e abrindo caminho para o preparo de normas técnicas tanto para o correto manejo dos resíduos como para seu uso pós-reciclagem. A resolução impõe aos geradores a obrigatoriedade da redução, reutilização e reciclagem dos resíduos. Mas, diante das características diversas destes geradores, foi definida, para Municípios e Distrito Federal, a necessidade de desenvolverem e programarem Planos Integrados de Gerenciamento que possibilitem a expressão das responsabilidades dos geradores, correspondentes à sua diversidade (PINTO, 2004) [8].

4. Materiais e Métodos

4.1. Materiais

Neste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

4.1.1. Solo

O Solo utilizado neste trabalho foi coletado na Região Oeste do Estado de Pernambuco, mais especificamente, no

município de Buíque. Trata-se de um solo A3, segundo a classificação HRB – Highway Research Board.

4.1.2. Resíduo de Concreto

Os resíduos de concreto foram coletados em caçambas coletoras de entulhos existentes em canteiros de obras em Recife-PE. A amostragem de RCD ocorreu em um período de 02 dias. Foram coletados aproximadamente 500Kg de material de acordo com a norma técnica NBR 7216 “Amostragem de agregados” (ABNT, 1982) [9]. Ao término da coleta, as amostras foram exaustivamente separadas de acordo com os constituintes para realização da composição gravimétrica e em seguida realizar o beneficiamento (Figura 1). Após esta etapa, a amostra foi homogeneizada em quatro partes, aproximadamente iguais, onde a quantidade era suficiente para atender a todas as etapas da pesquisa, tanto para a caracterização física como para as análises tecnológicas subseqüentes.



Fig 1. Resíduo de concreto após o processo de britagem

4.1.3. Cimento

Foi utilizado o cimento CP II E 32, da marca Nassau, já que é um cimento composto, com adições normalizadas, para uso e aplicação geral, em que não há necessidade de resistência elevada nas primeiras idades.

4.1.3. Água

Utilizou-se a água potável proveniente da rede pública de abastecimento.

4.2. Caracterização das Misturas Resíduo/Solo

A viabilidade técnica e econômica da aplicação do resíduo como constituinte de compósito solo-cimento está condicionada a capacidade de se utilizar um volume expressivo de resíduo. A caracterização das misturas se deu pela determinação da massa específica dos grãos, de

acordo com a norma NBR 6508 “Solo: determinação da massa específica” (ABNT, 1984) [10], pela análise granulométrica, de acordo com a NBR 7181 “Solo: análise granulométrica” (ABNT, 1984) [11], pela determinação dos limites de consistência, NBR 6459 “Solo: determinação do limite de plasticidade” (ABNT, 1984) [12] e NBR 7180 “Solo: determinação do limite de plasticidade” (ABNT, 1984) [13] e pelo estudo de compactação NBR 7182 “Solo: Ensaio de compactação” (ABNT, 1986) [14].

Na composição do solo-cimento, foram estudadas dosagens compostas por solo natural, solo + 25% de RCD e solo + 50% de RCD em relação à massa de solo. Para cada uma dessas composições, o teor de cimento utilizado foi de 8% em relação à massa da mistura solo-resíduo, pois esse é o teor indicado pela ABCP para solos A3. Foram moldados dois corpos-de-prova cilíndricos referentes a cada traço estudado (solo + 8% de cimento, solo + 8% de cimento + 25% de RCD e solo + 8% de cimento + 50% de RCD). Os corpos-de-prova cilíndricos serviram para avaliar o comportamento da resistência à compressão simples de acordo com a norma técnica NBR 12025 “Solo-Cimento: Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos” (ABNT, 1990) [15]. Depois de moldados, os corpos-de-prova foram transferidos para câmara úmida do Laboratório de Materiais de Construção da UPE (Figura 2).



Fig 2. Corpos-de-prova cilíndricos na câmara úmida.

5. Resultados e discussões

5.1. Composição Gravimétrica do RCD

A Figura 3 apresenta o percentual de cada material presente na amostra de RCD na fase de estrutura de

acordo com a separação tátil-visual realizada.



Fig 3. Composição Gravimétrica do RCD.

De acordo com a figura acima, a participação do material miúdo ($\phi < 4,8\text{mm}$), do tijolo e da argamassa da amostra foram de 2,65%, 3,50% e 1,11%, respectivamente. Pode-se observar também a presença de materiais como papel, plástico, madeira, vidro, isopor e metal, os quais foram chamados de “outros” cuja percentagem corresponde apenas a 0,03%. Este tipo de resíduo foi desprezado na realização do beneficiamento, atendendo ao requisito estabelecido pela NBR 15115 “Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - execução de camadas de pavimentação” (ABNT, 2004) [16].

5.2. Composição Granulométrica

A Figura 4 apresenta as curvas granulométricas do solo natural, do RCD e das misturas destes.

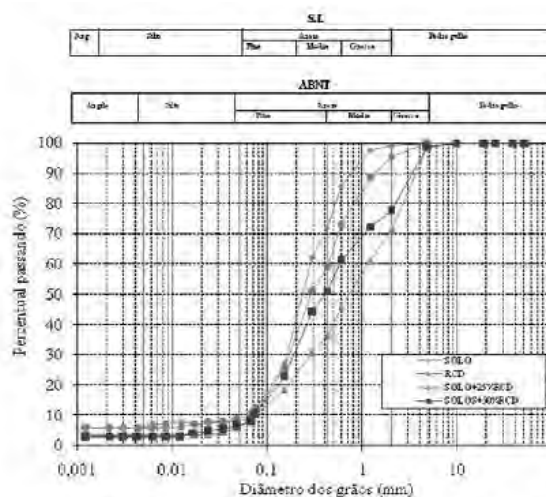


Fig 4. Curvas granulométricas do solo natural, do RCD e das composições de solo com resíduo.

A caracterização das misturas com as proporções especificadas permitiram identificar o material como predominantemente arenoso. Os resultados obtidos pela caracterização física estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Composição granulométrica das amostras.

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedregulho (%)
Solo	6,20%	1,83%	91,93%	0,04%
RCD	3,58%	10,42%	84,75%	1,25%
Solo + 25% RCD	5,78%	3,28%	90,72%	0,22%
Solo + 50% RCD	2,72%	3,72%	92,34%	1,22%

5.3. Análise Mineralógica

Para análise dos constituintes mineralógicos da amostra de RCD e de Solo com grãos de diâmetros pré-definidos, separou-se uma pequena quantidade do material e com auxílio de uma Lupa Leica EZ4D foi possível visualizar os minerais constituintes da amostra. Observou-se que na fração de RCD (Figura 5) há predominância de grãos de quartzo e de grãos angulosos a muito angulosos. A fração de solo é formada por grãos arredondados a angulosos, sendo um material predominantemente quartzoso (Figura 6).



Fig 5-b. Grão de Alvenaria.

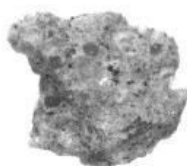


Fig 5-b. Grão de Cimento.

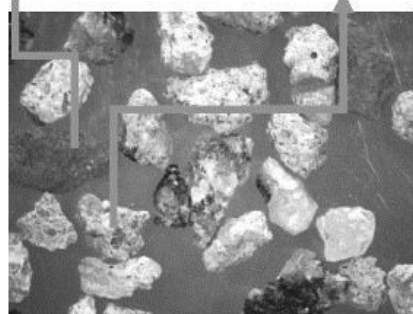


Fig 5. Análise mineralógica do RCD.

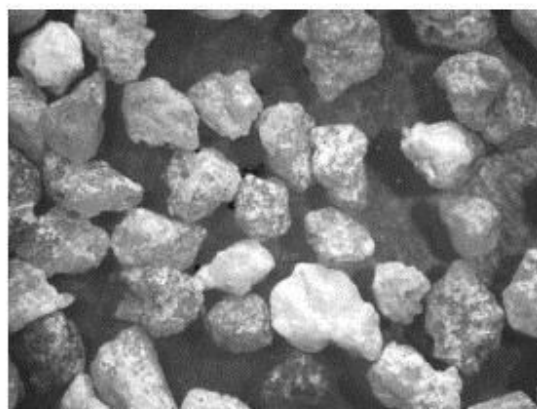


Fig 6. Análise mineralógica do Solo.

5.4. Ensaio de Compactação

As curvas de compactação foram obtidas a partir da energia Proctor Normal utilizada em cada uma das amostras. Figura 7 apresenta as curvas e a Tabela 4 mostra os resultados obtidos nos ensaios de compactação.

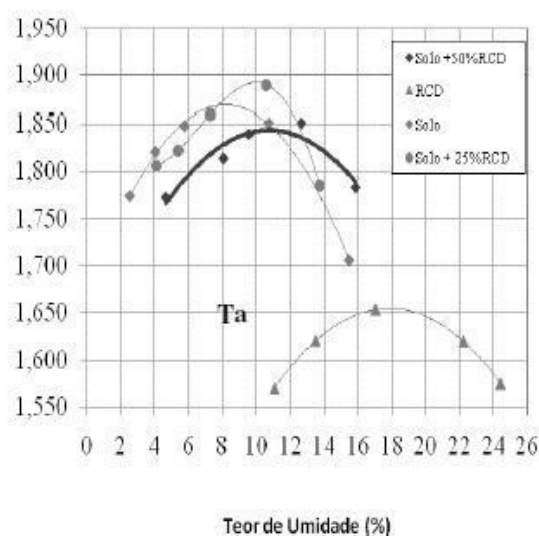


Fig 7. Curvas de compactação das amostras analisadas.

Tabela 4. Valores obtidos no Ensaio de Compactação.

Amostra	Umidade Ótima (%)	Massa específica seca máxima (g/cm ³)
Solo	8,0	1,88
RCD	18,0	1,66
Solo + 25%RCD	10,56	1,89
Solo + 50%RCD	11,0	1,84

5.5. Resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos

Os corpos-de-prova foram retirados da câmara úmida após o período de 07 e 28 dias de cura e foram encaminhados a ECOL (Empresa de Consultoria Ltda) onde, antes do ensaio de compressão, foram imersos em água durante 4 horas, de acordo com a NBR 12025 [16]. Apresentam-se na Tabela 5 os resultados obtidos no ensaio de compressão simples.

Tabela 5. Resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos.

Traço	Resistência Média (MPa)	
	07 dias	28 dias
Solo + 8% de cimento	2,15	2,79
Solo + 8% de cimento + 25% de RCD	2,11	2,93
Solo + 8% de cimento + 50% de RCD	0,81	3,11

Verificou-se que a resistência à compressão de ambos os compósitos aumentou de 07 para 28 dias. No entanto, para o compósito com 50% de RCD, a resistência aos 07 dias foi menor que 2,1 MPa, o que indicou algum erro na moldagem do corpo-de-prova já que aos 28 dias a resistência apresentou significativa elevação.

6. Conclusão

O estudo demonstrou que o aproveitamento dos Resíduos da Construção e Demolição na fabricação de tijolos de solo-cimento pode configurar-se numa prática ecologicamente correta e, desse modo, pode contribuir no sentido de reduzir o volume de material descartado na natureza e de reduzir a exploração dos recursos naturais e assim preservar o meio-ambiente. Os resultados indicam que os resíduos de concreto são uma excelente alternativa para melhorar as características dos solos, visando sua aplicação na produção do solo-cimento.

Através da pesquisa foi possível comprovar, através dos ensaios de caracterização física, compactação e resistência à compressão simples, a qualidade do material e a possibilidade de redução no consumo do cimento.

Com o ensaio de granulometria, tanto o solo quanto o RCD, as curvas enquadram-se na faixa de areia, pois não apresentam LL e LP e, tanto o ensaio de densidade real quanto a análise mineralógica confirmam este resultado que é típico de material arenoso com grande quantidade de quartzo e presença de mica, muscovita e biotita.

Quanto às propriedades tecnológicas, verificou-se que as misturas nas proporções de 25% e 50% atenderam às especificações para o emprego como solo-cimento. Entretanto, os corpos-de-prova com cura de 07 dias e com adição de 50% de RCD não atingiu o valor mínimo recomendado pela norma (2,1 MPa), possivelmente por um erro de moldagem do mesmo, já que aos 28 dias ele apresentou uma resistência superior a 2,1 MPa. Os demais ensaios mostraram que a quantidade de cimento a ser adicionada foi de 8% em massa, permitindo desta forma ao solo-cimento atingir resistência à compressão simples mínima de 2,1 MPa aos 07 dias de cura.

Diante da análise dos dados, observou-se que o emprego de Resíduo da Construção e Demolição reciclado apresenta-se como uma eficiente alternativa no sentido de diminuir o volume de material que, após ser rejeitado pelas obras, acaba muitas vezes sendo descartado de forma inadequada e prejudicando a natureza.

7. Agradecimentos

A realização dessa pesquisa só foi possível devido a enorme ajuda do laboratorista do Laboratório de Mecânica dos Solos da Escola Politécnica de Pernambuco, Fábio Ferreira, que esteve presente na execução de todos os ensaios. Agradeço também ao bolsista Felipe Santana do Laboratório de Geologia da UFPE, a Empresa de consultoria Ltda (ECOL) pela ajuda e atenção e, em especial, a Prof^a Kalinny Lafayette por todos os seus atos como orientadora e amiga.

Referências

- [1] JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. 2000. 102 f. Tese (Livro – Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO

- PORTLAND – ABCP. *Dosagem das misturas de solocimento: normas de dosagem e métodos de ensaio*. São Paulo-SP, 1999. ABCP, ET-35, 51p.
- [3] ANDRADE FILHO, J. Reforço de solos com a utilização de tubulões em solo-cimento. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 1989, 190 p.
- [4] FERRAZ, A. L. N. *Análise da adição de resíduos de argamassa de cimento em tijolos prensados de solo-cimento*. 2004. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2004.
- [5] SEGANTINI, A. A. S. *Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira (SP)*. 2000. 176 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- [6] BITAR, O. Y. *Desafio a sustentabilidade ambiental da mineração e uso de agregados naturais em áreas urbanas*. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2, 1999. São Paulo. Anais... São Paulo: Ibracon, 1999.
- [7] CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (2002). Resolução nº. 307 de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.
- [8] PINTO, T. P. Resíduos de construção civil – Nova legislação permite rápido avanço para normas técnicas e novas soluções. In: ASSEMBLÉIA NACIONAL DA ASSEMAE, 34, 2004. Caxias do Sul. Anais... Caxias do Sul: ASSEMAC, 2004.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6508: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 1984. 7 p.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7181: Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6459: Solo- Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 1984. 6 p.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12025: Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 1990. 2 p.
- [16] ABNT - Associação Brasileira de Normas técnicas. *NBR15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - execução de camadas de pavimentação – Procedimentos*. 10p Rio de Janeiro, 2004.

xElaboração de Modelo de Avaliação de Riscos Relacionados a Equipamentos Mecânicos em Canteiros de Obra

Andrade, F. C.
Escola Politécnica
de Pernambuco
Universidade de
Pernambuco
50.720-001 - Recife,
Brasil
feli-
pelsht@poli.br

**Kohlman Rabbani,
E. R., Ph.D.**
Escola Politécnica
de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife,
Brasil
emili-
alsht@poli.br

**Barkokébas Junior,
B., Ph.D.**
Escola Politécnica de
Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife,
Brasil
bedalsht@poli.br

**Lago, E. M. G.,
M.Sc.**
Escola politécnica de
Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 – Recife,
Brasil
eliansht@poli.br

**Vasconcelos, B. M.,
M.Sc.**
Escola Politécnica de
Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 – Recife,
Brasil
bi-
ancalsht@poli.br

Resumo *A utilização de máquinas e equipamentos, dentro do canteiro de obras de edificações verticais, vem contribuindo com a racionalização do transporte. Dentre os mais utilizados, destacam-se guias, elevadores e betoneiras. O objetivo deste artigo é avaliar os riscos mecânicos e elétricos destes equipamentos. A metodologia adotada baseou-se no “método de avaliação e controle dos riscos para construção civil”, no campo da engenharia de segurança do trabalho, e consistiu da elaboração de protocolo de avaliação a partir de visitas preliminares a canteiros de obras e identificação dos riscos de cada equipamento. Em seguida, desenvolveram-se diretrizes de segurança para cada máquina. Observou-se com esse trabalho a necessidade de instalação de uma ferramenta que torne possível a identificação dos riscos envolvendo máquinas e equipamentos. Assim, as diretrizes de segurança criadas atuam juntamente com o protocolo como fatores de desenvolvimento da gestão de segurança e saúde do trabalho para a indústria da construção civil.*

Abstract *The use of machinery and equipments in construction site of vertical buildings has contributed to the rationalization of transport. The most used are cranes, elevators and mixers. The aim of this article is to evaluate the mechanical and electrical risks of equipments. The methodology was based on "method of valuation and risk control for construction," in engineering side of work safety, and consisted of developing an assessment protocol from preliminar visits to construction sites and identifying risks from each equipment. Then, safety guidelines were developed for each machine. It was noted the need to install a tool that enables the identification of risks involving machinery and equipments. The safety guidelines established and the protocol will act as factors of development of safety management and occupational health for the construction industry.*

1 Introdução

1.1 Estilos

“O termo indústria da construção se usa em todo o mundo para englobar um coletivo de empresas com práticas muito diferentes, que se reúnem por um tempo limitado no lugar em que há de se executar uma obra de edificação ou de engenharia civil” [26]. Desta forma, o homem, principal agente modificador do meio, constrói obras, transformando o espaço em que habita, estabelecendo relações entre si.

Em 2007, segundo [20], as empresas deste setor ocuparam mais de 1,8 milhões de pessoas gerando gastos totais com o pessoal ocupado de R\$ 30,6 bilhões, dos quais R\$ 20,7 bilhões foram em salários, retiradas e outras remunerações (Tabela 1), o que significou uma média mensal de 2,3 salários mínimos.

Segundo [5], neste mesmo ano de 2007, a indústria da construção civil foi o setor da economia que mais teve taxa de crescimento. O saldo obtido foi considerado recorde e apresentou em valor de 176.755 empregos gerados, o que representa um crescimento de 13,08% no total de novos trabalhadores com carteira assinada em todo o país – mais do que o dobro dos índices alcançados pelo Comércio (6,5%), Indústria da Transformação (6,1%) e acima da média de crescimento de vagas formais em todo Brasil (5,85%).

Todos os dados citados anteriormente demonstram, com bastante propriedade, a importância da construção civil para o desenvolvimento sócio-econômico brasileiro.

Tabela 1. Dados gerais da indústria da construção - Brasil - 2006-2007.

Ano	Dados gerais da indústria da construção				
	Nº de empresas	Pessoal ocupado	Gastos com pessoal	Valor das construções executadas	Receita operacional líquida
		1 000		1 000 000 R\$	
2006	109	1 542	25 643	109 540	104 537
2007	110	1 812	30 581	128 047	122 709

Fonte: [20]

1.2 Máquinas e Equipamentos

Atualmente, as construtoras são pressionadas para terem os seus custos de vendas mais baixos e a maioria ainda trabalha de forma arcaica, com índices de produtividade muito aquém das suas necessidades. Apesar desta forma de construção artesanal, ainda tem-se produtos de boa qualidade, mas com custos elevados. O caminho para solucionar esta problemática é a industrialização da

construção através de máquinas e equipamentos de transporte vertical de material e passageiro. [30].

A movimentação vertical de cargas e passageiros em canteiros de obras e frentes de trabalho, ao longo dos anos, vem recebendo uma variedade de equipamentos para este fim, tais como elevadores de carga, elevadores de passageiros, elevadores cremalheira, talhas, guinchos, balanças ou andaimes suspensos, pontes rolantes e uma variedade de tipos de guias [4]. A mesma fonte ainda ressalta que tais equipamentos possibilitaram obras outrora impossíveis de serem realizadas através da força muscular humana ou de animais.

Por esta razão, transportes horizontais e verticais, para [19], são considerados como pontos-chaves em qualquer canteiro de obras, chegando a representar 80% das atividades de uma construção.

O século XX se notabilizou por inúmeros avanços tecnológicos, sendo inquestionável sua importância na crescente difusão dos equipamentos mecânicos em obras da construção civil. Entretanto, Para [29], o avanço da tecnologia traz consigo o surgimento de riscos de operação que antes não se encontravam presentes. E toda operação de transporte é potencialmente perigosa, trazendo alto risco para a saúde e a vida de quem trabalha na obra. Por isso, junto com as mudanças tecnológicas devem ser estudadas as medidas preventivas que devem ser tomadas pelas pessoas envolvidas na utilização dos equipamentos”. [24] ainda ressalta que muitos desses novos riscos são desconhecidos ou estão em fase de estudo e demandam pesquisas cujos resultados só se apresentam após a exposição prolongada dos trabalhadores a ambientes nocivos à sua saúde e integridade física.

1.3 Ocorrência de acidentes com equipamentos de transportes verticais em construções

Nos Estados Unidos, uma análise taxonômica feita afirma que até 33% dos acidentes em construções e atividades de manutenção acontecem em equipamentos de elevação vertical, como guias, elevadores e guindastes [31]. De acordo com o centro americano de pesquisa e treinamento para a construção [17], das 323 mortes ocorridas nos Estados Unidos em guias e guinchos e analisadas pela pesquisa em um período de 1992 a 2006, 68 (21%) foram causadas pelo colapso da estrutura e 59 (18%) estão relacionadas com o choque da lança com o trabalhador. O gráfico com o número de mortes relacionadas a guias/guinchos está apresentado na Figura 1.

No caso do Brasil, segundo [25], máquinas e equipamentos obsoletos e inseguros são responsáveis por aproximadamente 25% dos acidentes do trabalho em todo país.

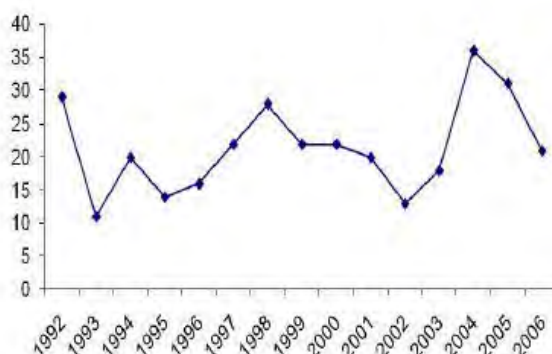


Fig 1. Numero de mortes, nos EUA, relacionadas a guias/guinchos por ano.

Fonte: [17]

1.4 Saúde e Segurança do Trabalho

Para [7], Chama-se Segurança do Trabalho ao conjunto de técnicas e procedimentos que têm por objetivo eliminar ou diminuir os riscos de que se produzam os acidentes do trabalho.

Já saúde, segundo a Organização Mundial da Saúde [27], é “um estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não apenas a ausência de doença”.

A importância da Segurança do trabalho se dá no caráter produtivo de uma empresa. De acordo com [23], a segurança deve ser e é um fator decisivo na qualidade no processo produtivo, pois, para atender à meta traçada, a produção não pode ser surpreendida com nenhum resultado indesejado, como os acidentes. Acidentes estes que, para [8], representam altos custos não só para a empresa, mas também para o próprio trabalhador e para a sociedade, que acaba sendo penalizada com as despesas assumidas pelo Ministério da Previdência Social.

Primeiramente, antes de se prevenir um acidente, é necessário que entendamos o que é o acidente. O conceito legal de acidente do trabalho é definido de acordo com a lei 8.213 Art.19º, a qual aponta: “Acidente do trabalho é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho dos segurados, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho”. [13].

Porém, é importante não se confundir acidente com incidente. A BS-8800 e BSI-OHSAS 18001, citados por [23], definem incidente da seguinte forma: “um elemento não previsto que tem o potencial de gerar acidentes”.

Uma das principais ferramentas utilizadas pela Segurança do trabalho na proteção da saúde do trabalhador são

os Equipamentos de Proteção Individual – EPI's – e Equipamentos de Proteção Coletiva – EPC's.

Equipamentos de Proteção Individual são, segundo a NR 06 [9], dispositivos destinados a proteger a saúde e integridade física do trabalhador, não sendo utilizados para evitar acidentes, e sim para evitar ou atenuar possíveis lesões.

O conceito de EPC baseia-se no mesmo de EPI, e difere-se no fato de que ele é utilizado de forma coletiva, e não individualmente. Segundo [28], normalmente os EPCs envolvem facilidade para os processos industriais, colaborando no aumento de produtividade e minimizando os efeitos de perdas em função de melhorias nos locais de trabalho.

Outro conceito importante a ser considerado é o de perigo e risco. Perigo é uma fonte ou uma situação potencial de provocar danos, em se tratando de lesões, doenças, danos à propriedade, dano ao meio ambiente ou uma combinação destas. Risco é a combinação de probabilidade de ocorrência e da consequência de um determinado evento perigoso. Sempre que houver perigo, haverá risco, podendo ser maior ou menor [6].

As estratégias gerais da prevenção dos riscos profissionais são divididas em identificação, avaliação e controle dos riscos. Dentre as três etapas, podemos destacar a etapa de avaliação, que pode ser feita utilizando o método de avaliação e controle dos riscos para construção civil no campo da engenharia de segurança do trabalho, elaborado por [6].

O método propõe a utilização de lista de verificação de conformidades (ou check list) para identificação dos riscos mecânicos e elétricos e estabelecimento de indicadores para avaliação e subsequente controle dos mesmos. Desta forma, torna-se muita mais eficaz o processo de controle de riscos e a consequente prevenção da saúde dos trabalhadores da construção civil.

2 Objetivo

Objetiva-se desenvolver um modelo de avaliação dos riscos de segurança de equipamentos mecânicos presentes em canteiros de obras.

Este modelo baseou-se nas normas e recomendações nacionais e internacionais e nas condições atuais destes equipamentos em canteiros de obras na Região Metropolitana do Recife (RMR), a fim de auxiliar na tomada de decisão dos profissionais envolvidos no setor da construção civil.

3 Metodologia

A metodologia adotada tomou como referência o método de avaliação e controle dos riscos para construção civil no campo da engenharia de segurança do trabalho, elaborado por [6] e utilizado por vários pesquisadores em diversas áreas relacionadas à SST, tais como: [33], [23], [7], [3], [21], [22] e [32].

Foi realizada uma extensa revisão bibliográfica do estado-da-arte acerca dos equipamentos utilizados na construção civil, de seus procedimentos de operacionalização, manutenção e de segurança e das normas nacionais e internacionais existentes acerca destes.

Elaborou-se um protocolo de avaliação de equipamentos mecânicos com base em visitas preliminares a canteiros de obras de construções verticais. Foram feitas visitas a seis edificações, priorizando as edificações na fase de estrutura, onde foram identificados os principais riscos dos equipamentos de transporte vertical e seus dispositivos de segurança.

A partir desta etapa, pôde-se desenvolver diretrizes de segurança para os principais riscos encontrados nos equipamentos inspecionados.

4 Resultados

4.1 Visitas Preliminares a Canteiros de Obra

Entre dezembro de 2009 e janeiro de 2010, foram realizadas visitas preliminares de campo a seis canteiros de obras de edificações verticais de responsabilidade de uma empresa de grande porte da região metropolitana do Recife.

Durante essas visitas, foi constatada a frequente utilização de guias, elevadores de passageiros, de materiais e de cremalheira, e betoneiras. Portanto, diante da verificação da grande importância destas máquinas para a construção civil, este trabalho foi direcionado para tais maquinarias.

No total, foram realizadas seis visitas preliminares a canteiros de obra de edificação vertical, sendo três em fase de fundação, uma em estrutura e duas em fase de acabamento.

O objetivo principal destas visitas foi, além de verificar as principais máquinas e equipamentos utilizados em canteiros de obra de elevação vertical, observar quais os riscos mais incidentes quanto à utilização destas mesmas máquinas e equipamentos.

4.2 Identificação dos Riscos

Após a fase de visitas preliminares a canteiros de obra, foi possível desenvolver uma tabela (Tabela 2) contendo os riscos existentes no manuseio da betoneira, dos elevadores de materiais, de pessoas e de cremalheiras, e da grua.

4.3 Protocolo de Avaliação de Riscos

O protocolo foi desenvolvido com o propósito de disponibilizar uma ferramenta eficaz e de fácil aplicação que possa auxiliar engenheiros mecânicos, de produção e de segurança no processo de identificação de riscos existentes no manuseio de equipamentos mecânicos em canteiros de obras, ajudando a fundamentar as ações de gestão de Segurança e Saúde do Trabalho – SST em suas empresas. Teve como base o modelo proposto por Barkokébas Junior, considerando as seguintes adaptações: a utilização de cores em tonalidades diferentes, facilitando o pesquisador a aplicar esta ferramenta; a especificação dos riscos existentes em cada máquina e equipamento, propiciando assim o conhecimento prévio, por parte de quem o está aplicando, dos riscos aos quais os operadores envolvidos com tais maquinarias estão envolvidos; e o grau de risco de cada item, que está de acordo com a sua respectiva cor. Se a fonte estiver em vermelho, o não cumprimento do item representa um Grave e Iminente Risco. Se a fonte estiver em preto, o não cumprimento do item representa um Desacordo.

Deve-se destacar que pode haver casos em que as características específicas do canteiro possam agravar ou não uma não conformidade observada, neste caso deve haver uma explicação junto ao item.

A Figura 2 apresenta uma visão parcial do protocolo.

O protocolo é constituído de 90 itens relacionados à NR 18 [10], NR 10 [11], NR 12 [12], RTP 02 [15], RTP 05 [16], NBR 5410 [1] e NBR 5419 [2], e subdividido em oito partes. São elas: Transporte de Materiais e Pessoas; Torres de Elevadores; Elevador de Materiais; Elevador de Passageiros; Elevador de Cremalheira; Gruas e Betoneiras. Cada subdivisão possui seus respectivos itens mais aplicáveis, os quais devem ser analisados pelo aplicador, e classificados como Não se Aplica (NA), Conforme (CO) e Nãoconforme (NCO). O grau de risco de cada item está de acordo com a sua respectiva cor. Se a fonte estiver em vermelho, o não cumprimento do item representa um Grave e Iminente Risco. Se a fonte estiver em preto, o não cumprimento do item representa um Desacordo.

Deve-se destacar que pode haver casos em que as

características específicas do canteiro possam agravar ou não uma não conformidade observada, neste caso deve haver uma explicação junto ao item. Além das oito subdivisões anteriormente apresentadas, o protocolo ainda possui um anexo referente ao Plano de Carga para Gruas, onde é possível ser verificado se o Plano de Cargas a ser analisado está conforme o previsto pela NR-18 [10].

O protocolo ainda especifica os riscos existentes em cada máquina e equipamento, propiciando assim o conhecimento prévio, por parte de quem o está aplicando, dos riscos aos quais os operadores envolvidos com tais maquinarias estão envolvidos.

Tabela 2. Riscos referentes a cada equipamento mecânico.

Máquina ou Equipamento	Risco
Betoneira	Ruído excessivo
	Choque elétrico
	Pancada pela cuba da betoneira
	Poeira dos agregados
	Dermatose de contato causado pelo cimento e cal e acidente com a caçamba de material
Elevadores de Materiais, de pessoas e Cremalheira	Quebra do cabo de aço de tração
	Defeito mecânico ou elétrico ocasionando a queda do equipamento
	Pancada em terceiros durante o trajeto do guincho;
	Choque no cabo elétrico,
	Queda devido aos desgastes nas passarelas
	Queda de funcionário ou de peças durante a montagem ou desmontagem
Grua	Ruptura do cabo ou gancho
	Queda da carga
	Quedas de alturas de pessoas atingidas pela carga
	Pancadas ou esmagamentos pela carga

PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS MECÂNICOS						
NOME DO PESQUISADOR:		EMPRESA:		DATA:		
OBRA:				NÃO se aplica NA	SIM, mas não	SIM, com observações
Máquina ou Equipamento	Risco	Item				
Betoneira	Ruído excessivo; choque elétrico; pancada pela cuba da betoneira; poeira dos agregados; dermatose de contato causado pelo cimento e cal e acidente com a caçamba de material.	12.3.5 / NR 10	A betoneira está aterrada?			
		18.22.4	A betoneira e o posto de trabalho do operador da betoneira estão protegidos contra queda de materiais e contra intempéries?			
		18.26.1	Próximo a betoneira existe extintor tipo Pó Químico ou CO2?			
		18.27.1.d	Sua área encontra-se isolada e sinalizada?			
		18.22.2	As partes móveis dos motores, transmissões e partes perigosas das máquinas estão protegidas do alcance dos trabalhadores?			
		12.2.5	A betoneira possui chave geral, em local de fácil acesso e acondicionada em caixa que evite o seu acionamento acidental e proteja as suas partes energizadas?			
		NBR 5410 / RTP 05	O comprimento do eletrodo de aterramento (haste) é de 2,00 m ou 2,40 metros?			

Fig 2. Visão parcial do Protocolo de Avaliação de Equipamentos Mecânicos. (adaptado a partir de modelo desenvolvido por Barkokebas Junior)

4.4 Protocolo de Avaliação de Riscos

As auditorias foram realizadas em três canteiros de obras de uma empresa de grande porte da construção civil do estado de Pernambuco. Todas as obras encontravam-se em estado de estrutura. A aplicação do Protocolo foi realizada mediante o acompanhamento do técnico de segurança específico de cada obra.

4.4.1 Protocolo de Avaliação de Riscos

Analisando-se as betoneiras, foi verificado que o posto de trabalho do betoneiro estava protegido contra intempéries e contra queda de materiais, conforme estabelecido pelo item 18.22.4 [10], e que suas partes móveis, transmissões e partes perigosas estavam protegidas do alcance dos trabalhadores, atendendo assim ao item 18.22.2 [10].

No entanto, de acordo com o item 18.27.1.d [10], a área da betoneira deveria estar sinalizada, informando quanto ao perigo de contato ou acionamento accidental com partes móveis da máquina, o que não foi verificado na auditoria.

Ao se verificar os itens referentes aos riscos elétricos, foi possível constatar que a betoneira encontrava-se aterrada, respeitando o previsto pelo item 12.3.5 [12] e pela NR 10 [11]. Porém, a caixa de inspeção desta máquina não dispunha de tampa de 25cm (vinte e cinco centímetros) de diâmetro, além de seu eletrodo de aterramento ter sido instalado em local úmido. Tais verificações representam descordos à NBR 5410 [1] e à NBR 5419 [2]. A figura 3 apresenta a caixa de inspeção da betoneira.



Fig 3. Caixa de inspeção do aterramento da betoneira.

4.4.2 Protocolo de Avaliação de Riscos

Todas as obras auditadas dispunham de elevadores. Duas delas apresentavam elevador misto, com sinalização em seu interior permitindo o transporte de passageiros e de cargas desde que não seja realizado de forma simultânea, conforme estabelecido por [10] em seu item 18.14.23.2.2.

A RTP 02 [15] e o item 18.14.15 [10], advertem quanto à necessidade de se instalar uma cobertura de proteção para isolar o cabo de aço entre a roldana livre e o tambor, protegendo-o assim de queda de materiais e evitando o risco de contato accidental com os trabalhadores. Durante o exercício da auditoria, foi verificada a existência de cabo de aço apenas parcialmente protegido, através de grades ou de tapumes improvisados (Figura 4).



Fig 4. Proteção improvisada do cabo de aço do guincho.

Também foi verificada a inexistência de material sobre a base para amortecer impactos imprevistos da cabina, conforme previsto pela RTP 02 [15], além de que ambos os elevadores de passageiros e mistos analisados no momento da auditoria, estavam dotados iluminação, ventilação natural ou artificial, indicação do número máximo de passageiros e do peso máximo suportado pelo guincho, estando de acordo com o exigido pelo item 18.14.23.5 [10].

Quanto às torres dos elevadores, todas encontravam-se devidamente estaiadas pelos montantes anteriores, em todos os pavimentos das estruturas, conforme estabelecido pelo item 18.14.21.9 [10] e pela RTP 02 [15], além de terem seus montantes posteriores também estaiados a cada seis metros, ou seja, dois pavimentos, incluindo o trecho acima da última torre, através de cabos de aço de 9,5mm (nove milímetros e meio), formando um ângulo de 45° (quarenta e cinco graus) com a edificação, atendendo assim aos itens 18.14.21.11, 18.14.21.12 [10] e a RTP 02 [15].

No entanto, apesar de todas atenderem ao disposto no item 18.14.21.6 [10], onde todas dispunham de torres com elementos estruturais em perfeito estado, foi possível verificar a existência de contraventos não contrapinnados, como verificado na figura 5, desatendendo assim ao item 18.14.21.8 [10].

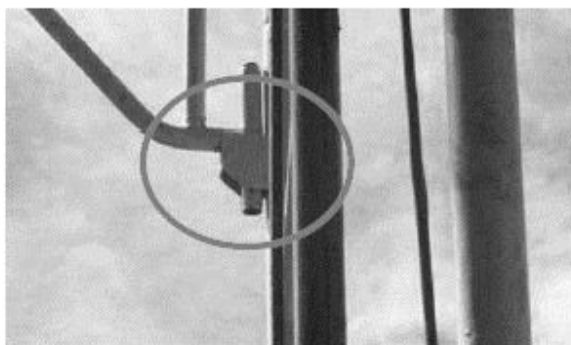


Fig 5. Contravento não contrapinado.

As torres também possuíam cancela, impedindo a abertura da barreira quando o elevador não estiver no pavimento, conforme item 18.14.21.18 [10], e as rampas nelas existentes possuíam guarda-corpo e rodapé, seus pisos eram de material resistente e sem abertura, com inclinação ascendente no sentido da torre, fixadas com braçadeiras, e com altura livre de 2,00m (dois metros) sobre elas, atendendo assim ao disposto nos itens 18.14.21.19, 18.14.21.20 [10] e a RTP 02 [15].

Quanto aos riscos elétricos, foi verificada a existência de aterramento na torre e no guincho conforme item 18.14.21.14 [10], porém não havia caixa de inspeção (Figura 6), entrando em desacordo com a NBR 5410 [1] e com a NBR 5419 [2].



Fig 6. Aterramento da torre do elevador.

4.4.3 Protocolo de Avaliação de Riscos

Ao serem inspecionadas, verificamos que as guias dispunham dos dispositivos de segurança exigidos pela NR 18 [10]. Tal norma estabelece que guias devem dispor de fim de curso do carro nas duas extremidades sob a lança;

limitador de altura; Anemômetro; Limitador de carga máxima; Limitador de momento máximo; Placas indicativas de carga admissível ao longo da lança. Dispositivo instalado nas polias que impeça o escape acidental do cabo de aço.

Outros itens exigidos pela NR 18 são: proteção ao operador contra raios solares; gaiola na escada da cabina e cabo-guia na lança e contra-lança; aterramento elétrico; limitador de translação em guias sobre trilhos; limitador de giro da torre; alarme sonoro; guarda-corpo, corrimão e rodapé nas transposições de superfície; e limitadores de curso para o movimento da lança em guias de lança móvel ou retrátil.

Outra conformidade verificada foi a existência de dispositivo trava-quedas (Figura 7) conforme estabelecido pelo item 18.14.24.11.1 [9].



Fig 7. Dispositivo trava-quedas.

Na aplicação do protocolo, foi possível verificar uma situação de grave e iminente risco com relação ao item 18.14.24.8 [10]. Nele, o sistema hidráulico da guia deverá ser operado fora da torre, o que não foi verificado nas guias inspecionadas. Tal situação coloca em risco a vida do trabalhador.

O gancho da guia também foi observado neste item, e foram constatadas situações onde a trava de segurança tinha sido adaptada pela própria empresa, sendo alterada em relação ao modelo original de fábrica (Figura 8a). Quando questionados quanto aos reais motivos de tal adaptação, os operadores do equipamento relataram que o dispositivo fornecido pelo fabricante era insatisfatório por se danificarem em pouco tempo de uso, sendo necessária a adaptação verificada na Figura 8b.

Adaptações realizadas no gancho da guia geram riscos de acidentes, pois, quando alterada a estrutura do equipamento oriundo da fábrica, suas características, previstas

em manual próprio, também são alteradas. Desta forma, fatores como limite de resistência do material, são modificados.

Outro aspecto analisado foi quanto ao disposto no item 18.14.24.12 [10], onde a área destinada à carga ou descarga da grua deve estar devidamente isolada e sinalizada. Durante a inspeção foi verificada a conformidade deste item.

Durante o processo de aplicação do protocolo, foi constatada a sua eficácia diante do objetivo proposto: análise e listagem dos riscos mecânicos e elétricos relacionados aos equipamentos mecânicos utilizados em canteiros de obra. Tal eficácia justifica-se ao fato de o protocolo abranger sete normas diferentes, tornando-se assim um modelo de avaliação completo. No entanto, isto acarretou em um protocolo extenso, sendo necessário uma grande quantidade de tempo para aplicá-lo.

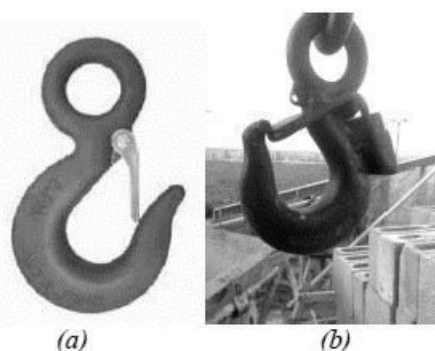


Fig 8. (a) Gancho da grua original de fábrica. (b) Gancho da grua adaptado.
Fonte: (a) [16]; (b) do autor.

4.5 Protocolo de Avaliação de Riscos

A seguir, são apresentadas diretrizes de segurança a serem adotadas no controle dos riscos mecânicos e elétricos existentes no manuseio de betoneiras, guinchos ou elevadores e guas elaboradas tendo como base os riscos observados e inadequações observadas com a aplicação do protocolo.

4.5.1 Riscos elétricos

Em se tratando de riscos elétricos, os equipamentos estudados dotam das mesmas medidas preventivas. Betoneiras, Guinchos e Guas devem:

- Estar eletricamente aterrados, com seus respectivos eletrodos de aterramento medindo 2m (dois

metros) ou 2,40m (dois metros e quarenta centímetros) de comprimento, estando instalados em local apropriado, ou seja, sem estar em local úmido e nas proximidades do trânsito ou permanência de pessoas ou animais, conforme [1] e [16];

- Possuir caixa de inspeção do aterramento de PVC dotada de tampa com 0,25m de diâmetro, ou ainda de alvenaria com tampa de proteção nas seguintes medidas: 0,25m x 0,25m x 0,25m. A caixa de inspeção deve estar acessível, conforme [1] e [2];
- Possuir as partes vivas perigosas inacessíveis e as massas ou partes condutivas acessíveis sem oferecer perigo, conforme [1], [16] e item 18.21.3 [10].

4.5.2 Protocolo de Avaliação de Riscos

Betoneiras:

- A betoneira deverá estar protegida contra intempéries e queda de material, inclusive o posto de trabalho do betoneiro, conforme item 18.22.4 [10];
- A área ao redor da betoneira também deverá estar isolada do acesso de pessoas estranhas;
- Deverá existir extintor tipo Pó Químico ou CO₂ e cartazes informando quanto aos riscos e ao uso do Equipamento de Proteção Individual - E.P.I. - próximo à betoneira conforme item 18.26.1 [10], num local de fácil visualização, fácil acesso, onde haja menor probabilidade de o fogo bloquear este acesso, conforme [15];
- O motor e partes rolantes da betoneira deverão estar protegidos contra o contato acidental conforme item 18.22.2 [10].

Elevadores ou Guinchos:

- A manutenção das partes mecânicas do guincho deve ser realizada periodicamente por pessoa qualificada e anotada em livro próprio, conforme itens 18.14.1.2 e 18.14.22.5 [10];
- O livro do elevador de pessoal deverá ser preenchido pelo operador, diariamente, e assinado pelo

responsável da obra, semanalmente, conforme item 18.14.23.4 [10];

- Durante a montagem e manutenção do elevador, deverá ser utilizado cinto de segurança.

Torres de elevadores:

- Deverão ser montadas e desmontadas por pessoas qualificadas e supervisionadas pelo responsável, conforme item 18.14.1.1 [10];
- Devem ser instaladas o mais próximo possível da estrutura do prédio, conforme item 18.14.21.4 [10];
- A base onde será instalada deverá ser única de concreto, nivelada e rígida, e todos os elementos estruturais (laterais e contraventos) componentes da
- Deverão ser amarradas à estrutura do prédio pelos montantes anteriores com cabo de aço a cada 3m (três metros), ou seja, em todos os andares, conforme a RTP 02 [15];
- Os montantes posteriores deverão estar estaiados a cada 6m (seis metros), ou seja, a cada dois andares, e no trecho acima da última laje, conforme itens 18.14.21.11 e 18.14.21.12 [10];
- Os parafusos de pressão dos painéis deverão ser apertados e os contraventos contrapinados, conforme item 18.14.14.8 [10];
- A torre, especificamente para guinchos de materiais, deverá ser revestida com tela de arame galvanizado para evitar queda de material, conforme item 18.14.21.17 [10];
- A distância da viga superior da cabina ao topo da torre deverá estar compreendida entre 4m (quatro metro) e 6m (seis metros) quando a cabina do guincho estiver na última parada, conforme item 18.14.21.10 [10].

Rampas:

- Deverão ser de material resistentes, providas de guarda-corpo na altura de 1,20m (um metro e vinte) para o travessão superior, 0,70m (setenta centímetros) para o travessão intermediário, e 0,20m (vinte centímetros) de rodapé, revestidos

com tela de nylon, não tendo inclinação para dentro da torre, conforme o item 18.14.21.19 [10];

- Deverá existir uma altura livre de no mínimo 2m (dois metros) entre a rampa e a laje, conforme item 18.14.21.20 [10].

Cancelas:

- Deverão existir em todo acesso de entrada às torres dos elevadores, sendo mantidas sempre fechadas, contendo altura mínima de 1,80 m (um metro e oitenta centímetros), conforme item 18.14.21.15 [10].
- As cancelas deverão conter dispositivos que as mantenham fechadas automaticamente, sendo liberadas apenas quando o elevador estiver no andar, conforme item 18.14.21.18 [10];

Base do motor do guincho:

- O tambor, o cavalete da “roldana louca” e a base do guincho deverão estar nivelados para garantir o enrolamento correto do cabo de aço, conforme RTP 02 [15];
- A distância entre a roldana louca e o tambor deverá ser de 2,50m (dois metros e cinquenta centímetros) a 3m (três metros), e em qualquer posição do guincho o cabo de tração deverá manter, no mínimo, 6 (seis) voltas enroladas no tambor, conforme os itens 18.14.14, 18.14.17 [10] e RTP 02 [15].

O elevador de material deverá dispor de:

- Sistema de frenagem automática, trava de segurança, interruptor de correntes para que o guincho se movimente apenas com portas ou painéis fechados, conforme o item 18.14.22.4 [10] e RTP 02 [15];
- A cabina do elevador deverá ser fechada com painéis fixos nas laterais e parte externa com altura mínima de 1m (um metro) e cobertura fixa ou basculável, conforme item 8.14.22.8 [10] e RTP 02 [15];
- A porta do elevador de material deverá ter interruptor e sinalizador de correntes conectado a lâmpadas verde e vermelha próximo ao operador do guincho para alertá-lo quanto ao uso do equipamento.

O elevador de passageiros deverá dispor de:

- Interruptor de fim de curso superior e inferior conjugados ao freio automático, sistema de frenagem automática em caso de ruptura do cabo de tração, sistema de segurança eletromecânico no limite superior instalado a 2m (dois metros) abaixo da viga superior da torre, conforme item 18.14.23.3 [10] e RTP 02 [15].
- A cabina será metálica contendo portas pantográficas e sistema de interruptor de corrente para que o equipamento se movimente somente quando as portas estiverem fechadas, conforme item 18.14.23.3 [10] e RTP 02 [15].
- A cabina deverá ter iluminação artificial e placas com indicação de carga máxima, número máximo de passageiros e proibição de transporte de materiais, conforme itens 18.14.23.5 [10].

Gruas:

- O gancho deve ser dotado de trava de segurança em perfeito estado, conforme item 18.14.24.11 [10];
- O contrapeso de concreto deve estar bem protegido e devem ser evitados os deslocamentos;
- A manobra de elevação da carga deve ser lenta, de maneira que, se o operador detectar algum problema, deve depositar a carga no local original, imediatamente;
- Antes de utilizar a grua, deve ser verificado o correto funcionamento do giro, o deslocamento do carrinho, a descida e elevação do gancho;
- Devem ser colocadas placas visíveis na grua e indicadas as cargas máximas permitidas, conforme item 18.14.24.11 [10];
- Todos os movimentos da grua devem ser feitos por intermédio de botoeira e devem ser realizados por pessoa habilitada e competente, auxiliada por sinalizador;
- Deverá conter alarme sonoro para que seja acionado toda vez que a grua esteja em operação, conforme item 18.14.24.11 [10].

- O trajeto a ser percorrido pela lança da grua deve ser isolado, para que, em momento algum, as pessoas fiquem sob as cargas, conforme item 18.14.3 [9];
- A carga deverá ser observada durante todo o seu percurso de transporte;
- Os cabos de elevação devem ser inspecionados periodicamente.

5 Conclusões

Percebe-se a grande quantidade de riscos ainda existentes no ambiente de trabalho envolvendo máquinas empregadas na construção civil, principalmente no que diz respeito a guas, betoneiras e elevadores.

Diante deste quadro, torna-se evidente a necessidade de instalação de uma ferramenta que torne possível a identificação e a listagem destes riscos, e que possam embasar ações eficazes de gestão de segurança do trabalho.

Com este trabalho, foi possível, através de uma análise preliminar, identificar as principais máquinas e equipamentos utilizados em canteiros de obra de elevação vertical e observar quais os riscos mais incidentes quanto à utilização destas mesmas máquinas e equipamentos.

Tendo sido identificado os riscos existentes em cada máquina ou equipamento, foi desenvolvido o Protocolo de Avaliação de Equipamentos Mecânicos, cujo principal objetivo é atuar na avaliação dos riscos mecânicos e elétricos encontrados nos equipamentos de transporte vertical de materiais e pessoas mais comumente utilizados nos canteiros de obras, tornando-se assim uma importante ferramenta a atuar na prevenção de incidentes e acidentes envolvendo máquinas e equipamentos.

O protocolo apresentado possui uma didática simples, de forma a permitir que qualquer profissional da área da construção civil, seja um engenheiro civil, elétrico, de produção, ou até mesmo o próprio engenheiro mecânico, identifique os possíveis riscos relacionados a equipamentos mecânicos existentes no canteiro de obras de edifícios múltiplos pavimentos. Desta forma, torna-se mais fácil e viável o planejamento de medidas de controle para eliminar, sinalizar ou isolar os riscos e para, por exemplo, planejar ciclos de manutenção preditiva nos equipamentos.

As diretrizes de segurança criadas atuam juntamente com o protocolo como instrumentos gestão de segurança e saúde do trabalho para a indústria da construção civil, contribuindo com a melhoria da qualidade e produtividade da empresa e ajudando a garantir a segurança do trabalhador deste setor.

A metodologia utilizada e os resultados poderão subsidiar atualizações nas normas técnicas e de segurança do trabalho no setor da construção civil e embasar novos trabalhos na mesma área de pesquisa. Com isso, será possível proporcionar melhores condições de trabalho para os operadores destes equipamentos e todos os que necessitam do serviço de transporte realizado por estas máquinas.

Referências

- [1] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Brasil) (Ed.). *NBR 5410: Instalações Elétricas de baixa Tensão*. 1997.
- [2] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Brasil) (Ed.). *NBR 5419: Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas*. 2001.
- [3] ALMEIDA FILHO, et al. Caracterização dos sistemas das instalações elétrica nos canteiros de obras do Nordeste Brasileiro. In: Congresso Internacional de Segurança, Higiene e Saúde do Trabalho, 2007. Porto. *Anais do International Congress on Occupation Safety and Health. Porto-Portugal, 2007*.
- [4] ANTONIO, Sérgio. *Plano de Cargas Para Gruas Instaladas em Canteiro de Obras e Frentes de Trabalho*. Edt. ALAÚDE LTDA, 2004.
- [5] BARKOKÉBAS JUNIOR, Béda et al. *Campanha de prevenção de acidentes do trabalho na indústria da construção civil no estado de Pernambuco*: Relatório 2007/2008. 11. ed. Recife: Sinuscon, 2010. 128 p.
- [6] BARKOKÉBAS JUNIOR, et al. Diagnóstico de Segurança e Saúde no Trabalho em Empresa de Construção Civil no Estado de Pernambuco. In: CONGRESSO NACIONAL DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO, 13., 2004, *Anais...* São Paulo. CONASEMT, 2004a.
- [7] BARKOKÉBAS JUNIOR, et al. *Indicadores de segurança do trabalho para direcionamento do sistema de gestão em segurança e saúde do trabalho*. In: ENEGEP 2006, Fortaleza, 2006a.
- [8] BARKOKÉBAS JUNIOR., B. et. al., *Projeto Piloto de Gestão de Segurança do Trabalho Aplicado a Empresa de Construção Civil da Região Metropolitana do Recife*. Pernambuco-BR. In: XIV Congresso Brasileiro de Ergonomia – ABERGO. Curitiba, 2006b.
- [9] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho. *NR-06: Equipamento de proteção individual - EPI*. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_06.pdf>. Acesso em: 03 jul 2010a.
- [10] _____. Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho. *NR-18: Condições do meio ambiente de trabalho na indústria da construção*. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_18.asp>. Acesso em: 07 maio 2010b.
- [11] _____. Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho. *NR 10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade*. Disponível em: www.mte.gov.br. Acesso em: 20/07/2010c.
- [12] _____. Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho. *NR 12: Máquinas e Equipamentos*. Disponível em: www.mte.gov.br. Acesso em: 25 março 2010d.
- [13] _____. Ministério da Previdência Social. Lei 8.213, de 24 de julho de 1991. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 20 abr. 2010e.
- [14] _____. Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho. *NR 23: Proteção contra incêndios*. Disponível em: www.mte.gov.br. Acesso em: 30 agosto 2010f.
- [15] _____. Ministério do Trabalho e Emprego. Fundacentro. *Recomendações Técnicas de Procedimentos - RTP 02: MOVIMENTAÇÃO E TRANSPORTE DE MATERIAIS E PESSOAS - ELEVADORES DE OBRA* - São Paulo: Fundacentro. 2001.
- [16] _____. Ministério do Trabalho e Emprego. Fundacentro. *Recomendações Técnicas de Procedimentos - RTP 05: Instalações elétricas temporárias em canteiros de obras*. São Paulo: Fundacentro. 2007.
- [17] CPWR – THE CENTER FOR CONSTRUCTION RESEARCH AND TRAINING (Estados Unidos). *Crane-Related Deaths in Construction and Recommendations for Their Prevention*. Disponível em: <www.cpwr.com/cranereport/cpwr_crane_rept_recmmtdtns.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2010.
- [18] FORTEGANCHOS, Disponível em: <http://forteganchos.net/moitao.html>. Acesso em: 07 agosto 2010.
- [19] GEHBAUER, Fritz; EGGENSBERGER, Marisa; ALBERTI, Mauro Edson; NEWTON, Sérgio Auriquio. *Planejamento e Gestão de Obras*. CEFET-PR, Curitiba, 2002.
- [20] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Anual da Indústria da Construção*. v. 17 Rio de Janeiro, 2007. 81p.

- [21] KOHLMAN RABBANI, et al. Exposição do operador de ensacadeira a material particulado em indústria de cimento: Estudo de caso em Pernambuco. In: XV Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP, 2008, Bauru/SP. *Anais...*, 2008a.
- [22] KOHLMAN RABBANI, et al. Characterization of the workers exposition to dust in road workmanships in the regularization phase and preparation of base and subcourse - study case. In: XIV ICIEOM - International Conference on Industrial Engineering and Operation Management, 2008, Rio de Janeiro. *Anais...*, 2008b.
- [23] LAGO, E. M. G. *Proposta de sistema de gestão em segurança no trabalho para empresas da construção civil*. 2006. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP, 2006.
- [24] MATTOS, R. P. Computadores provocam acidentes do trabalho?. Disponível em: <<http://www.ricardomattos.com/artigo.htm>>. Acesso em: 03 fev. 2010.
- [25] MENDES, R. *Máquinas e Acidentes de Trabalho*. Brasília: MTE/SIT; Mapas, 2001. 13 v. (Coleção Previdência Social).
- [26] OIT - Organização Internacional do Trabalho (Org.). *Construccion - Principales Sectores y sus riesgos: Principales sectores*. Disponível em: <http://www.mtas.es/insht/EncOIT/sumario.htm> Acesso em: 11 out. 2009.
- [27] OMS/WHO - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Saúde*. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/healthsystems/Conferen/backgrou nd/20080507-2>>. Acesso em: 31 mai. 2007.
- [28] PIZA, F. de T.. *Informações Básicas sobre saúde e segurança do trabalho*. São Paulo, 1997.
- [29] SAMPAIO, J. C. A. *Manual de aplicação da NR 18*. São Paulo: Pini: Sinduscon-sp, 1998. 540 p.
- [30] SCIGLIANO, Walter Antonio. *Manual para utilização de guias: O que é preciso para se usar guias*. 2. ed. São Paulo: Autor, 2008. 151 p.
- [31] SHEPHERD, G. W.; KAHLER, R. J.; CROSS, J.. Crane fatalities: a taxonomic analysis. *Safety Science*, East Brisbane, n. 36, p.83-93, 2000.
- [32] SOUZA, S. S. B. Adequação das exigências normativas de proteção contra choques elétricos às características funcionais dos canteiros de obras. 2008. 132 p Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UPE, Pernambuco, Recife, 2008.
- [33] VÉRAS, Juliana Claudino. *Fatores de Riscos de Acidentes do Trabalho na Indústria da Construção Civil: Análise na Fase de Estruturas*. Dissertação de Mestrado. UFPE Recife, 2004.

Desenvolvimento de metodologia de coleta de dados de indicadores de desempenho para benchmarking de empresas de construção

Amorim, J. A. S.

Escola Politécnica de Pernambuco

Universidade de Pernambuco

50.720-001 - Recife, Brasil

jose_arimateiasamorim@hotmail.com

mail.com

Resumo *O desenvolvimento de sistemas de medição de desempenho constitui-se numa das principais contribuições que podem ser implementadas para a modernização da indústria da construção. A prática do benchmarking agrega valor para a medição de desempenho na medida em que os resultados são comparados com dados de referência e decisões são tomadas com base nessas comparações. É por isso que este artigo visa à implantação de uma metodologia de coleta de dados que permita a realização do benchmarking em empresas de construção civil. Para atingir tal fim, foram realizados levantamentos bibliográficos, selecionadas as amostras de empresas participantes da pesquisa, estudos junto às empresas acerca da concepção, desenvolvimento e implantação de um sistema de indicadores e, por fim, foram dados subsídios para desenvolvimento de um website para coleta e análise de dados e disseminação dos resultados obtidos.*

Abs-tract *The development of performance measurement systems is a major strength that can be implemented to modernize the construction industry. The practice of 'benchmarking' adds value to performance measurement, as the results are compared with reference data and decisions are taken on these comparisons. That is why this article aims to implement a methodology for data collection that allows the creation of 'benchmarking' in construction companies. To achieve this end were conducted literature surveys, selected samples of firms participating in the research, studies from the companies concerning the design, development and deployment of a system of indicators and, finally, were given grants to develop a website to collect and data analysis and dissemination of results.*

1 Introdução

O interesse em sistemas de medição de desempenho na indústria da construção é um fato relativamente recente, causado majoritariamente pela implantação e certificação de sistemas de gestão da qualidade pelas empresas de construção.

Há exigências específicas relativas à medição de desempenho nas principais normas de certificação utilizadas pelas empresas, a norma NBR ISO 9000:2000 e o Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil (SiAC) do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H).

Os sistemas de medição de desempenho fornecem informações essenciais para o planejamento e controle dos processos gerenciais, possibilitando, ainda, o monitoramento e o controle dos objetivos e metas estratégicas da empresa [1].

A medição de desempenho é um processo pelo qual se decide o que medir e, a partir daí, é feita a coleta, o processamento e a avaliação de dados. As medidas devem estar agrupadas de modo que formem um sistema coeso e balanceado, com indicadores de produto e de processo, financeiros e operacionais, que avaliem a eficiência e eficácia. Os sistemas de medição de desempenho permitem controlar processos críticos e detectar possibilidades de melhoria através da comparação de resultados (*benchmarking*).

Dentro desse contexto, este artigo tem como objetivo desenvolver uma metodologia para coleta de indicadores que permita a realização do *benchmarking* de empresas de construção civil.

2 Fundamentação teórica

Segundo Gonçalves [2] todas as empresas de um modo geral necessitam de um sistema de avaliação de desempenho, uma vez que a verificação contínua do processo de avaliação permite que a empresa saiba como estão indo a eficiência e a eficácia de suas ações e como se comportam as pessoas, os processos e os programas da organização.

De acordo com Duarte [3], os indicadores de desempenho precisam ter credibilidade, ser bem definidos, adequadamente divulgados e analisados permanentemente para que assim possam ser aceitos e tornem-se subsídios valiosos para a tomada de decisões. Devem ser estabelecidos de forma a medir não só fases específicas de um processo, mas também para avaliar o desempenho global da empresa.

Através do *benchmarking* que, segundo Navarro [4], é o processo contínuo e sistemático de comparação de práticas, processos e resultados com padrões de excelência, há contribuição para a melhoria do desempenho da organização com relação a seus concorrentes, proporcionando vantagem competitiva e melhoria contínua dos processos da empresa.

Desta maneira, pode-se afirmar que o objetivo do “*benchmarking*” não é a qualificação das empresas de forma isolada nem em relação a uma escala prédefinida, mas sim a criação da possibilidade de cada empresa avaliar a sua prestação em relação aos seus concorrentes. Sem deixar de mencionar que a prática também compara processos internamente.

Diante do exposto, a metodologia a seguir apresentada visa dar uma contribuição para que as construtoras utilizem uma ferramenta inovadora que possibilita a prática do *benchmarking*, contribuindo indiscutivelmente no processo de tomada de decisões e ações de melhoria da qualidade e produtividade das mesmas.

3 Metodologia de pesquisa

A metodologia utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa foi constituída de 03 etapas, quais sejam:

- etapa 01: seleção da amostra de empresas participantes da pesquisa: definição em conjunto com as identidades setoriais (SINDUSCON/PE e ADEMI-PE) sobre as empresas interessadas em participar da pesquisa;
- etapa 02: pesquisa junto às empresas de construção para a concepção, o desenvolvimento e a implantação de um sistema de indicadores de desempenho para *benchmarking*;
- etapa 03: contribuição no desenvolvimento de um *website* para a coleta e a análise de dados e a disseminação dos resultados obtidos.

A etapa 01 correspondeu à seleção da amostra de empresas que se interessaram em participar da pesquisa. Toda essa decisão foi feita em conjunto com o SINDUSCON/PE e ADEMI-PE e, assim, ficou definida uma amostra de treze empresas de construção, quais sejam: A.C.Cruz, Conic Souza Filho, Duarte, Exata, Gabriel Bacelar, GC Tenório, Hábil, Pernambuco, Prolar, Queiroz Galvão, Rio Ave, Romarco e Santo Antônio.

A etapa 02 correspondeu ao período em que aconteceram reuniões juntamente com as empresas para a concepção, desenvolvimento e implantação de um sistema de indicadores de desempenho para *benchmarking*. Durante essas reuniões puderam ser discutidos e levantados os indicadores mais utilizados pelas empresas, os mais interessantes, que agregam valor e de simples coleta.

Na etapa 03, puderam ser montadas as ferramentas necessárias para a prática de *benchmarking*. Para tal fim, foi desenvolvido um *web-site*, o qual possibilita às empresas a inserirem os respectivos dados dos seus indicadores.

A seguir serão descritas com maiores detalhes as três etapas correspondentes ao desenvolvimento de metodologia de coleta de dados de indicadores de desempenho para *benchmarking* de empresas de construção civil.

4 Análise e interpretação de dados

4.1 Etapa 01: seleção da amostra das empresas participantes

Em recente pesquisa coordenada pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil de Pernambuco (SIDUS ON/PE) e realizada pelo Grupo de Pesquisa em Tecnologia e Gestão da Construção de Edifícios (POLITECH) no ano de 2008 com vinte empresas construtoras, foi possível verificar a situação atual do processo de medição através de indicadores. Entre outros resultados obtidos, pôde-se verificar que a maioria das empresas não consegue avaliar comparativamente os seus indicadores com as outras empresas pela diversidade das metodologias de coleta de dados.

Dado o exposto acima, sentiu-se a necessidade da aplicação de uma metodologia padrão para uniformizar a coleta de dados e os indicadores, permitindo a realização do *benchmarking*.

Inicialmente a ideia era formar um conjunto seletivo de cinco empresas para participarem da pesquisa que, posteriormente, foi ampliado para dez. Como a quantidade de empresas construtoras que demonstraram bastante interesse se aproximava de dez, decidiu-se incluir todas elas. Foi definido, assim, em conjunto com o SINDUSCON/PE e ADEMI-PE uma amostra de treze empresas de construção as quais se interessaram em participar da pesquisa, quais sejam: A.C.Cruz, Conic Souza Filho, Duarte, Exata, Gabriel Bacelar, GC Tenório, Hábil, Pernambuco, Prolar, Queiroz Galvão, Rio Ave, Romarco e Santo Antônio.

4.2 Etapa 02: pesquisa junto às empresas para concepção, desenvolvimento e implantação de um sistema de indicadores para benchmarking

Passada a fase de seleção e escolha da amostra de empresas para a pesquisa, precisaram ser realizadas reuniões conjuntas para que fossem discutidos e levantados os indicadores mais utilizados pelas empresas, os mais interessantes, que agregam valor e de simples coleta. Como mencionado anteriormente, o uso dos indicadores de desempenho não é sistemático em grande parte das empresas de construção, daí a necessidade da identificação dos indicadores de desempenho mais utilizados pelas empresas assim como também, através do estudo bibliográfico, a detecção daqueles mais relevantes.

Para uma melhor organização e sistematização, os indicadores foram definidos por processo. Os mesmos estão elencados na tabela 1, mostrada ao lado:

É importante salientar que, com a ajuda da bibliografia, pôde-se desenvolver o que se denomina de “Ficha de Caracterização do Indicador”, a qual incorpora informações acerca de cada indicador. Cada ficha contém itens importantes que caracterizam, dão subsídios para o procedimento de coleta dos dados e métodos de análise para cada indicador. Os itens são os seguintes citados abaixo:

- Processo: indica o processo o qual o indicador se encaixa;
- Objetivo: mostra qual o objetivo do indicador;
- Orientação para coleta: dá informações de como se proceder na coleta dos dados dos indicadores;
- Periodicidade: indica de quanto em quanto tempo deve ser feita a medição do indicador;
- Responsável pela coleta: informa que responsável da empresa deve fazer a coleta dos dados;
- Roteiro para cálculo: informa a fórmula matemática que deve ser utilizada para o cálculo do indicador;
- Diretrizes para análise: dá informações importantes acerca do indicador para que sejam feitas as análises de validação dos dados.

Tabela 1. Indicadores de desempenho por processo

PROCESSO COMERCIAL
Satisfação do cliente (Usuário)
Ritmo de vendas
PROCESSO FINANCEIRO
Inadimplência
PROCESSO PLANEJAMENTO
Desvio de custo
Desvio de prazo
Desvio de ritmo
PROCESSO ASSISTÊNCIA TÉCNICA
Tempo médio de atendimento
Custo dos serviços de assistência técnica
PROCESSO RECURSOS HUMANOS
Satisfação do cliente interno (Clima organizacional – Obra)
Absenteísmo
PROCESSO OBRA
Consumo de argamassa industrializada
Geração de resíduos de placas cerâmicas
Geração de resíduos de tijolos/blocos
Boas práticas
Treinamento da mão-de-obra
PROCESSO SUPRIMENTOS
Avaliação de fornecedores
PROCESSO PROJETOS
Avaliação de Projetistas
Taxa de concreto
Taxa de aço
Esbeltez do edifício

A figura 1 mostrada logo a seguir é um exemplo de ficha de caracterização para o indicador de Inadimplência (Processo Financeiro). Deve-se lembrar que para cada indicador foi desenvolvida uma respectiva ficha de caracterização e cujo conteúdo da mesma foi elaborado com o auxílio de algumas referências: livros, teses, dissertações, artigos, entre outros.

INADIMPLÊNCIA

Processo: Financeiro

Objetivo: Monitorar a inadimplência acumulada de cada empreendimento a partir da relação entre as parcelas não recebidas e o total de parcelas previstas.

Orientação para coleta: A inadimplência deve ser calculada para cada empreendimento. A partir da média dos resultados, obtém-se o índice geral da empresa. Para a inserção no sistema, o índice de inadimplência deve ser o acumulado: da primeira parcela em aberto até aquela referente ao mês de coleta (o resultado financeiro de todas as parcelas não recebidas). Contudo, a empresa pode obter a inadimplência mensal: ao final de cada mês, subtrai-se o número de parcelas recebidas do número de parcelas previstas naquele mês.

Periodicidade: A coleta deve ser realizada mensalmente.

Responsável pela coleta: Setor Financeiro.

Roteiro para cálculo: O cálculo da Inadimplência é feito pela seguinte fórmula:

Inadimplência (In)

$$In = (\text{Resultado financeiro de inadimplentes}) / (\text{Resultado financeiro previsto total}) \times 100\%$$

onde:

Resultado financeiro de inadimplentes (R\$) = É o valor acumulado de todas as prestações não recebidas até a data da coleta do índice.

Resultado financeiro previsto total (R\$) = É o resultado financeiro total acumulado até a data de coleta do índice, ou seja, o valor das prestações previstas.

Fig. 1. Ficha de Caracterização do Indicador para o indicador de Inadimplência

4.3 Etapa 03: contribuição no desenvolvimento de um web-site

Em trabalho paralelo à definição dos indicadores os quais estão sendo coletados pelas empresas, houve a necessidade de criação de um *website* para que as mesmas pudessem inserir os seus dados e, assim, haver a concretização da prática de benchmarking. Atualmente, o site do INDICON (Indicadores para Benchmarking em Empresas de Construção Civil), desenvolvido para esse fim, já está no ar e disponível para as empresas participantes.

O site do INDICON (Indicadores para *Benchmarking* em Empresas de Construção Civil) é uma aplicação que

possibilita o ingresso dos resultados dos indicadores, bem como uma avaliação comparativa desses resultados entre empresas do setor da construção civil. O mesmo possibilita, assim, que as empresas façam o cadastramento de seus empreendimentos, a inserção dos resultados dos indicadores e a geração dos seus relatórios (individual e geral).

A figura 2, mostrada abaixo, corresponde à página inicial do site do INDICON, contendo o *menu*, a apresentação, algumas informações sobre *benchmarking*, o campo de *login* para o acesso das empresas participantes, o campo de notícias e os *links* da realização, apoio e coordenação da pesquisa.



Fig. 2. Página inicial do site do INDICON (Indicadores para Benchmarking em Empresas de Construção Civil)

Também foram desenvolvidas analogamente às fichas de caracterização dos indicadores, planilhas em formato Excel com a função de facilitar às empresas no processamento dos dados dos indicadores. Desta forma, todas as planilhas estão em formato as mais simples e coesas possíveis, contendo informações básicas dos indicadores, inclusive, as fórmulas de cálculo para a compilação dos resultados.

As fichas de caracterização dos indicadores, criadas para dar informações imprescindíveis acerca de cada indicador de desempenho, bem como as planilhas em formato Excel as quais objetivam processar e compilar os resultados, também estão disponíveis na página do site dentro do *login* das empresas participantes (Figuras 3 e 4).

Fig. 3. Página do INDICON contendo as Fichas de Caracterização dos Indicadores

Fig. 4. Página do INDICON contendo as Planilhas de Resultados

A figura 5, abaixo indicada, representa a planilha de resultados em formato Excel para o indicador de Inadimplência. Para o cálculo do indicador é necessário o preenchimento das células com os valores que correspondem ao valor previsto das prestações até o mês de referência e o resultado financeiro de inadimplentes.

INADIMPLÊNCIA			
EMPREENDIMENTO 1			
	VALOR TOTAL PREVISTO*	RESULTADO FINANCEIRO DE INADIMPLÊNCIAS**	INADIMPLÊNCIA
Ago/20			NOV/20
Sep/20			NOV/20
Out/20			NOV/20
Nov/20			NOV/20
Dez/20			NOV/20
Jan/21			NOV/20
Fev/21			NOV/20
Mar/21			NOV/20
Abr/21			NOV/20
Mai/21			NOV/20
Jun/21			NOV/20
Jul/21			NOV/20

* Valor total das prestações previstas até o mês de referência (total acumulado)
 ** Comparação de todos as prestações em aberto até o mês de referência

Fig. 5. Planilha de resultados para o indicador de Inadimplência

Feita a inserção dos dados dentro do período estabelecido, os mesmos passam por um período de validação e, após isso, são gerados os relatórios individuais de cada empresa, contendo a média dos resultados dos empreendimentos para cada indicador; e os relatórios gerais, os quais abrangem um maior número de informações, que são: média da empresa para cada indicador, média geral de todas as empresas, mediana, valor mínimo, valor máximo, *benchmarking* e o número de entradas.

5 Conclusões

Com o intuito de se obter uma plataforma via *web* para a inserção dos dados dos indicadores das empresas, contou-se com a ajuda de dois programadores, os quais ficaram responsáveis pelo desenvolvimento e aprimoramento do sistema *on-line*. Durante esse processo de desenvolvimento, diversas simulações precisaram ser feitas para que pudessem ser visualizados os possíveis erros no sistema.

As fichas de caracterização dos indicadores disponíveis na plataforma dão informações suficientes a respeito de cada indicador, incluindo diretrizes para análise dos resultados obtidos.

As planilhas em formato *Excel*, as quais auxiliam na compilação dos dados que estão sendo inseridos no sistema, também estão disponíveis no *site* do INDICON, auxiliando no gerenciamento dos resultados dos indicadores pelas empresas participantes da pesquisa. Passada a fase de inserção e validação dos dados, são gerados os relatórios (individual e geral), os quais foram desenvolvidos para tornar possível a avaliação comparativa dos resultados das práticas adotadas entre as empresas participantes

da pesquisa e a identificação das melhores práticas, podendo assim, possibilitar a geração de valores de referência para o setor e, conseqüentemente, dar subsídio para a promoção de ações de melhoria contínua e aprendizado.

Referências

- [1] COSTA, D.B.; FORMOSO, C.T.; LIMA, H. M. R.; BARTH, K. B. **Sistema de Indicadores para benchmarking na construção civil: manual de utilização**. Porto Alegre: UFRGS/PPGEC/NORIE, 2005.
- [2] GONÇALVES, J. P. **Desempenho Organizacional. Seminário Econômico**. São Paulo, n. 815, Ago/2002.
- [3] DUARTE, C.M.M. **Indicadores de desempenho do sistema de gestão da qualidade de empresas de construção com certificação ISO 9001 e PBQP-H**. 2008. 63f. Projeto final de curso – Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 2008.
- [4] NAVARRO, G.P. **Proposta de sistema de indicadores de desempenho para a gestão da produção em empreendimentos de edificações residenciais**. Porto Alegre, 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE IMPREGNANTE INIBIDOR DE CORROSÃO APLICADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SOB A AÇÃO DE ÍONS CLORETO

SILVA, R. M

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
raniellimelo.eng@hotmail.com

MONTEIRO, E. C. B.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
nana.monteiro@uol.com.br

Resumo

Existem inúmeros problemas com estruturas de concreto armado, e um dos mais comuns e que apresenta maior risco é a corrosão de armaduras. Sabendo disso, torna-se importante a busca por meios de evitar a corrosão. Diante do exposto, esta pesquisa buscou avaliar a eficiência de um novo material de reparo, aplicado na superfície da estrutura de concreto, quando exposto aos agentes de corrosão. Foram feitos ensaios em pequenos corpos de prova simulando a ação desses agentes, tendo sempre como base outros corpos sem o uso do produto. Após a fase experimental notou-se uma eficiência abaixo do esperado do produto nos diferentes tipos de corpos de prova e com isso concluiu-se que o Inibidor de Corrosão não correspondeu ao esperado sendo pouco eficiente em ambientes marinhos agressivos como o da cidade do Recife.

Abstract

There are numerous problems with reinforced concrete structures, and one of the most common and the most risky is the corrosion of steel bars. Knowing this, it becomes important to search for ways to prevent corrosion. Given the above, this study sought to evaluate the efficiency of a new repair material, applied to the surface of the concrete structure when exposed to corrosive agents. Tests were made on small specimens simulating the action of these agents, are always focused on other specimens without the use of the product. After the experimental phase we observed a lower than expected efficiency of the product in different types of specimens and thus concluded that the corrosion inhibitor did not correspond the expected being less efficient in harsh marine environments such as the city of Recife.

1 Introdução

No Brasil, vários levantamentos já foram realizados sobre as manifestações patológicas nas estruturas de concreto. Aranha (1994) em um levantamento realizado na região Amazônica mostrou que 45% das obras foram atacadas por corrosão e recentemente Teixeira e Gonçalves (2003) inspecionaram 200 pontes no estado do Piauí e também foram constatados problemas diversos de corrosão de armadura. Em Pernambuco, Andrade (1997) encontrou resultados alarmantes dessas manifestações e concluiu que a corrosão de armaduras é o causador da maior parte dos danos nas estruturas de concreto, sendo responsável por mais de 50% das patologias registradas em edificações. A depassivação da armadura ocorre após a quebra da situação de equilíbrio que de início é apresentado no concreto. Este, por sua vez, tem uma elevada alcalinidade, com Ph acima de 12,6. Com o processo de carbonatação ou de penetração de íons cloreto, o concreto passa a ficar mais ácido, fazendo com que ocorra a corrosão. A fase de iniciação da corrosão depende da estimativa de vida útil de projeto da estrutura, (HELENE, 1993). Após depassivada a armadura, ocorre o processo de propagação por toda extensão, este processo é acelerado pela freqüente carbonatação e adição de cloretos (ALONSO & ANDRADE, 1988, MONTEIRO, 1996).

A durabilidade consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural (ABNT, 2003). O grande problema em relação à durabilidade é o envelhecimento da estrutura, porém isso vem ocorrendo cada vez mais cedo. Estudos comprovam que em países mais pobres os custos com recuperação chegam a 70% dos custos aplicados, pois não há medidas de prevenção, enquanto nos países mais desenvolvidos os custos não passam de 3,5% do produto interno bruto (ARANHA, 1994, ANDRADE & GONZALES, 1978).

Vida útil é aquela durante a qual a estrutura conserva todas as características mínimas de funcionabilidade (ANDRADE, 1992). Um estudo realizado por Tuutti (1982) propôs um modelo teórico de vida útil aplicada à corrosão de armaduras, a Figura 1 é a representação esquemática do seu modelo.



Fig 1. Modelo de Vida Útil proposto por Tuutti

No período de INICIAÇÃO, o dióxido de carbono e os íons cloreto penetram desde o interior e avançam até a armadura. Helene (1993) considera que a duração da fase de iniciação deve corresponder à estimativa da vida útil de projeto da estrutura quanto à corrosão.

A intensificação do processo de corrosão acontece no período de PROPAGAÇÃO.

A relação água/cimento é um dos fatores mais importantes, ela influencia na porosidade e consequentemente na penetração dos íons cloreto na estrutura (MONTEIRO, 2002). Monteiro (1996), pesquisando três tipos de cimentos nacionais, verificou que a redução da relação água/cimento melhorou o desempenho dos cimentos em relação à corrosão de armaduras por íons cloreto, aumentando significativamente a sua fase de iniciação.

Segundo Holden (1986, *apud* MONTEIRO, 2002) a composição química do cimento tem grande influência na penetração de íons cloreto, já que o silicato tricálcico (C3A) e o ferro aluminato de cálcio (C4AF) se combinam com os íons cloreto para formar os cloroaluminatos. Essa reação diminui o fluxo de penetração de íons cloreto devido à redução da concentração de íons livres na solução aquosa dos poros do concreto.

Colleparidi; Marcialis; Turriziani (1972) verificaram que os concretos mais bem compactados têm o coeficiente de difusão de íons cloreto inferiores àqueles não compactados.

Elevadas temperaturas aumentam a velocidade de penetração dos íons cloretos e as fissuras que existem nas estruturas facilitam o caminho dos agentes corrosivos.

A absorção capilar também é um dos fatores que ditam a corrosão, já que o ingresso da água depende da densidade dos poros do concreto. O fenômeno de absorção não acontece em concretos saturados, pois o concreto deve estar com os poros secos ou parcialmente secos para que seja possível a absorção de água por capilaridade (HELENE,

1993).

Outro fator é a permeabilidade que consiste na facilidade com que um fluido possa penetrar num sólido (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Esta situação ocorre tanto em estruturas submersas quanto em parcialmente submersas e podem acelerar a penetração dos agentes.

2 Metodologia

Para minimizar a penetração dos agentes corrosivos no concreto armado, foi utilizado um material impregnante aquoso que tem como função proteger o concreto dos efeitos da corrosão e aumentar a durabilidade do concreto.

Para avaliar a eficiência desse material foi usado cimento do tipo CP II Z-32, por ser o mais utilizado no estado de Pernambuco, areia oriunda da própria região passada pelo ensaio de granulometria de acordo com a NBR 7217 (ABNT, 1987) e aço CA-60 com diâmetro de 5,0mm, obtido por trefilação de fio máquina e produzidos segundo as especificações da NBR 7480 (ABNT, 1985).

Séries de Ensaios

Com o objetivo de avaliar o comportamento em diferentes condições micro-estruturais, foram utilizadas duas variações da relação a/c: 0,4 e a 0,7. Já que a relação água/cimento é o principal parâmetro que influencia diretamente na porosidade (MEHTA, 1994).

Neste programa experimental foram utilizadas duas séries para cada tipo ensaio: A Série R e a Série A. A série "R" corresponde à série referência, ou seja, sem aplicação de material algum de reparo, já a Série "A" corresponde à série na qual será aplicada a pintura superficial.

Descrição dos corpos de Prova

Para os ensaios acelerados de corrosão foram confeccionados corpos de prova com dimensões 60 x 25 x 80 (mm), armados com duas barras de aço longitudinais de diâmetro 5,0 mm com cobrimento definido. As barras foram dimensionadas com um comprimento maior, de modo a ficar com a sua extremidade exposta para possibilitar a conexão elétrica das armaduras para monitoramento da corrosão.

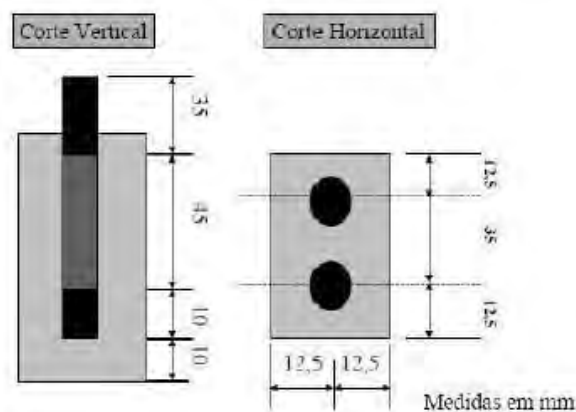


Fig 2. Dimensionamento dos Corpos de prova

Preparo e Limpeza das Barras

As armaduras utilizadas nos corpos de prova sofreram um procedimento de limpeza específico, já que foram utilizadas como sensores de corrosão nos ensaios acelerados de corrosão. O procedimento de limpeza empregado se baseia na norma ASTM C - 1152/ (1992).

Modelagem

A moldagem dos corpos de prova dos ensaios acelerados foi planejada para se ter o maior grau possível de homogeneidade e principalmente precisão de forma, dimensões e posicionamento da barra. O procedimento de moldagem foi feito de forma manual, numa fôrma de plástico e teve o lançamento e o adensamento em duas camadas. Foi utilizado um soquete no adensamento das camadas.



Fig 3. Moldagem dos corpos prismáticos

Cura

Logo após o procedimento de moldagem, os corpos de prova foram colocados em câmara úmida e desmoldados após 24 horas mantendo - os em cura até a idade determinada.



Fig 4. Corpos de prova em Cura

Após a cura foi aplicado, com o uso de pinceis e dentro das normas de segurança, utilizando bata, luvas e máscaras, o material de reparo nos corpos de prova.

Ensaio Acelerados de Penetração de Íons Cloretos

Como o mecanismo de ingresso de cloretos varia de acordo com o tipo de ensaio e das condições de umidade, desta maneira foi escolhida a condição de imersão parcial em NaCl com semi-ciclos de secagem e umectação de acordo que as metodologias que envolvem ciclos de secagem e imersão parcial ou contato com solução de NaCl correspondem ao regime mais severo de penetração de cloretos (PAGE et al, 1991).

Tabela 1. Tabela de semi-ciclo

SEMICICLO	CONDIÇÃO	DURAÇÃO
Secagem	Estufa	5 dias
Imersão Parcial	Parcialmente Submerso	2 dias

No ciclo de secagem os corpos ficam em estufa a 50°C. No ciclo de umectação, os corpos ficam submersos até metade de sua altura da área de exposição das barras. Deste modo, se tem a absorção por capilaridade e a medição das

variáveis estudadas se dá a cada fim de semi-ciclo.

Também foram realizados ensaios complementares: Absorção por imersão e por capilaridade, pois considera-se que a penetração de água tem dois efeitos de grande importância na durabilidade de uma estrutura de concreto.

Absorção por Imersão

Neste ensaio foram utilizados corpos de prova cilíndricos com 5,0 cm de diâmetro e 10,0 cm de altura, o procedimento a ser adotado consta na NBR 9798 (ABNT, 1987) o produto avaliado foi aplicado em todas as faces. Após este procedimento os corpos de prova foram mantidos em ambiente de laboratório por mais de 7 dias para assegurar a cura dos sistemas de proteção. Foram empregados 04 corpos de prova para cada material estudado.

A absorção foi medida através da pesagem dos corpos de prova após a secagem superficial dos mesmos.

Absorção por Capilaridade

Este ensaio foi conduzido de acordo com as recomendações com a NBR 9779 (ABNT, 1995), utilizando corpos de prova cilíndricos de diâmetro 5,0 cm x 10 cm de comprimento.

Os corpos foram tratados da mesma forma que os utilizados no ensaio de Imersão.

Foi aplicada uma proteção com silicone até a altura de 4 cm a partir da face onde o sistema de proteção superficial será aplicado. Este cuidado foi tomado para induzir que a penetração de água só ocorra por uma das faces circulares do corpo-de-prova. O nível de água foi mantido constante e igual a 5 mm durante todo o ensaio.

O monitoramento da absorção de água foi acompanhado a partir de pesagem dos corpos de prova ao longo do período de experimento.

O acompanhamento das variações de massa dos corpos de prova de ambos os ensaios foram realizados até os 30 dias após o primeiro contato a água.



Fig 5. Fôrma de plástico para melhor desmoldagem.



Fig 6. Soquete utilizado para o adensamento das camadas

Ensaio Eletroquímico: Medida de Potencial de Corrosão

O Potencial de corrosão (E_{corr}) pode ser considerado um indicador de deterioração. A norma ASTM C - 876/ (1992) associa uma probabilidade superior a 95 % de corrosão para valores de potenciais inferiores a -350 mV, para eletrodo de cobre/sulfato de cobre.

Neste ensaio foram utilizados os equipamentos enumerados abaixo:

1. Multímetro
2. Eletrodo de cobre/ sulfato de cobre saturado para as leituras de potencial de corrosão.

3 Resultados e Discussões

Absorção de água

Absorção de água por imersão

Os resultados da Figura 7 abaixo indicam que na relação água/cimento 0,4 os corpos de prova com aplicação do Impregnante inibidor de corrosão tiveram uma menor penetração de água em sua estrutura em relação aos corpos de prova de referência.

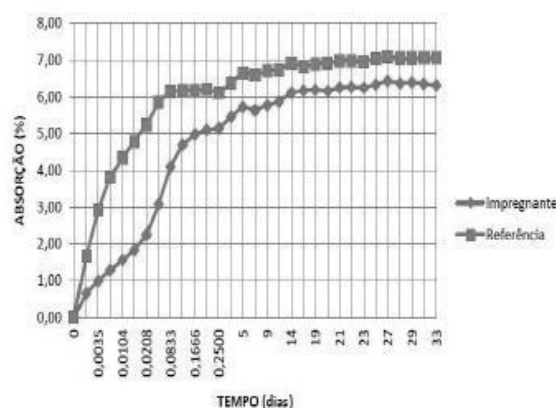


Fig 7. Absorção por Imersão (0,4)

A Figura 8 refere-se à relação a/c 0,7, que pelo gráfico nota-se uma penetração de água maior que a da relação 0,4. O que demonstra uma menor eficiência do Impregnante nesta condição, já que o ingresso de água no concreto é o principal fator para que ocorra a corrosão. Pode-se observar também que não houve significativa variação na penetração de água nos corpos de prova com impregnante e de referência.

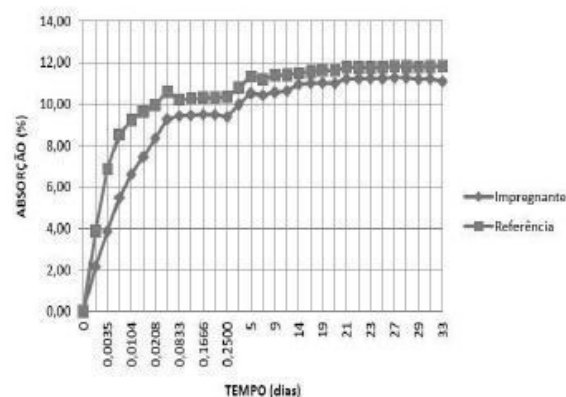


Fig 8. Absorção por Imersão (0,7)

Absorção de água por capilaridade

No gráfico referente à relação a/c 0,4, é visto que a diferença obtida entre os corpos referência e os corpos com a aplicação do Impregnante é insignificante (Figura 09).

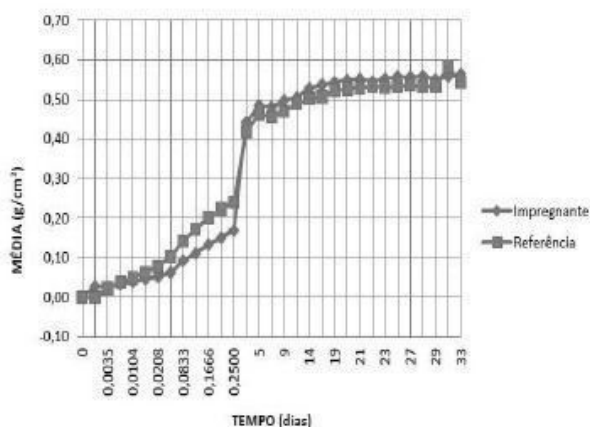


Fig 9. Absorção por Capilaridade (0,4)

Já no gráfico referente aos corpos de prova com relação água/cimento 0,7 percebe-se uma diminuição significativa na absorção de água com a utilização do Impregnante Inibidor de Corrosão (Figura 10).

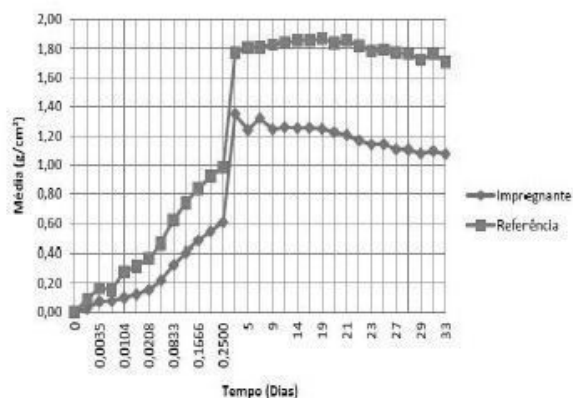


Fig 10. Absorção por Capilaridade (0,7)

Evolução do Potencial de Corrosão (Ecorr)

Os resultados de corrosão nos corpos de prova com relação a/c 0,4 e os resultados nos corpos de prova com relação 0,7 obtidos nos gráficos abaixo (Figuras 11 e 12), mostram que após 42 dias de ciclagem, não se obteve melhorias expressivas com a utilização do Impregnante

nos corpos de prova. Tendo em vista que ambos os corpos, tanto os de referência quanto os com o produto, estiveram abaixo do patamar de -350 mV em relação ao eletrodo de cobre / sulfato de cobre, indicando que em todos os casos, a barra esteve com alta probabilidade de corroer.

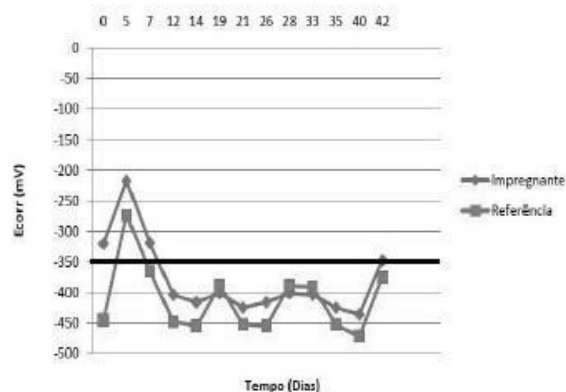


Fig 11. Potencial de corrosão (0,4)

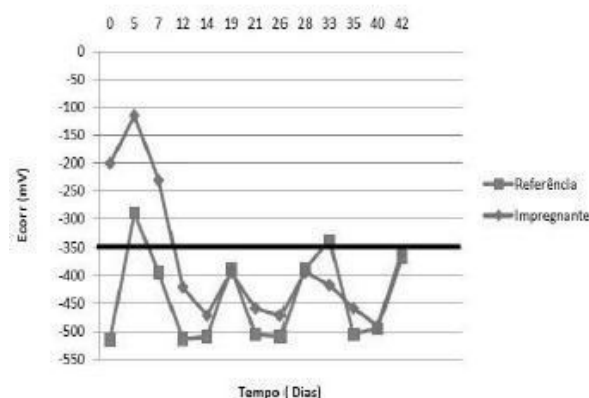


Fig 12. Potencial de corrosão (0,7)

4 Conclusões

Com base nos dados obtidos nesta pesquisa foi possível analisar a eficácia do Impregnante Inibidor de corrosão, através de gráficos comparativos.

Com relação à absorção de água por Imersão ficou claro a pouca eficiência do produto em ambas as relações água/cimento, já que o mesmo não impediu de forma significativa o ingresso de água na estrutura.

Na absorção de água por capilaridade o produto se mostrou mais eficiente quando aplicado nos corpos de prova com relação água/cimento 0,7. Quando aplicado nos corpos com relação água/cimento 0,4 o produto não mostrou nenhuma melhora.

Analisando o Potencial de corrosão foi visto que em ambas as relações água/cimento os corpos de prova cruzaram o patamar de -350 mV nas primeiras semanas de ciclagem, o que mostra a baixa interferência do Impregnante no aspecto preventivo da corrosão.

Tendo em vista as informações acima se conclui que o produto Impregnante Inibidor de Corrosão não correspondeu ao esperado, sendo pouco eficiente em ambientes marinhos agressivos como o da cidade do Recife.

Agradecimentos

Agradeço ao NPEC – Núcleo de Pesquisa em Engenharia Civil – que me ajudou e proporcionou o espaço físico para a realização de pesquisas, a todos meus orientadores, diretos e indiretos, ao Grupo RECUPERAR e ao PIBIC POLI - Programa Institucional de Base de Iniciação Científica - da Escola Politécnica de Pernambuco/Universidade de Pernambuco pelo apoio financeiro ao desenvolvimento de minha pesquisa.

Referências

- [1] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete. ASTM C 1152: 1992. Philadelphia: Annual Book of ASTM Standards.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento -. Rio de Janeiro. NBR 6118. 2003.
- [3] _____. Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por capilaridade - NBR 9779: Rio de Janeiro. 1995.
- [4] _____. Barras e fio de Aço destinados a armadura para concreto armado – NBR 7480: Rio de Janeiro. 1985.
- [5] _____. Determinação da composição granulométrica - NBR 7217: Rio de Janeiro. 1987.
- [6] _____. Determinação da resistência à compressão - NBR 7215: Rio de Janeiro. 1996.
- [7] ARANHA, P.M.S. Contribuição ao estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado na região amazônica. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.
- [8] ANDRADE, C.; GONZÁLEZ, J. A. Quantitative measurements of corrosion rate of reinforcing steels embedded in concrete using polarization resistance measurements. Werkstoffe um Korrosion, Berlim, Alemanha, v. 29, p. 515-19, 1978
- [9] ANDRADE, C. Manual de Diagnósticos de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras. Editora Pini, São Paulo, 1992.104p.
- [10] ALONSO, M. C.; ANDRADE, C. Corrosion of steel reinforcement in carbonated mortar containing chloride. Advanced Cement Research, v.1, p. 155-163, 1988.
- [11] COLLEPARDI, M.; MARCIALIS, A; TURRIZIANI, R. Penetration of Chloride Ions into Cement Pastes and Concretes. Journal of the American Ceramic Society, v.55, n.10, p.533-535. 1972.
- [12] HELENE, P.R.L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. 1993. 231p e 271f. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- [13] MEHTA. P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: Estrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: Ed. Pini, 1994. 573p.
- [14] MONTEIRO, E.C.B. Estudo da capacidade de proteção de alguns tipos de cimentos nacionais, em relação à corrosão de armaduras, sob a ação conjunta de CO₂ e íons cloretos. 1996. 138p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília
- [15] MONTEIRO, E.C.B. Avaliação do método de extração eletroquímica de cloretos para reabilitação de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras. 2002. p.211 Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [16] PAGE, C.L.; SHORT, N.R.; HOLDEN, W.R. The influence of different cements on chloride - induced corrosion of reinforcing steel. Cement and Concrete Research, v.16, n.5, p.79-86, September. 1986.
- [17] PAGE, C.L.; LAMBERT, P. & VASSIE, P.R. Investigations of reinforcement corrosion. 1. The pore electrolyte phase in chloride-contaminated concrete. Materials and Structures, 1991. Vol. 24, pp. 243-252.
- [18] TEIXEIRA, P. W. G. N.; GONSALVES, F. D. R. Avaliação geral do estado de conservação de pontes existentes nas rodovias piauienses. In: Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, 5, 2003, São Paulo. Anais. São Paulo: 2003.
- [19] TUUTTI, K. Corrosion Stell in Concrete. Stockholm: Cement and Concrete Research Institute,

Stockolm, 1982, 469p.

Influência de aditivo retardador de pega na reciclagem da pasta de gesso utilizada como revestimento interno de parede

Menezes, R. B.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
rbm2202@hotmail.com

Póvoas, Y. V.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
yeda.povoas@gmail.com

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi investigar a influência de um aditivo retardador de pega nas propriedades da argamassa de gesso produzidas com seu próprio resíduo. Diferente de outros tipos de resíduo de construção, o gesso ainda não possui tecnologia economicamente viável para sua reciclagem. A reutilização do resíduo na argamassa diminui o tempo útil, inviabilizando sua aplicação em revestimentos. Por isso, foi analisada a influência de um aditivo retardador de pega. Ensaios de tempo de pega e calor de hidratação auxiliaram nas conclusões. Percebe-se que a cristalização e nucleação do gesso ocorrem mais rapidamente que o processo retardador do aditivo quando em presença de resíduos.

Abstract

The aim of this work was to investigate the influence of retarding substances in the properties of plaster of Paris produced with its own waste. The plaster is not yet economically viable for recycling. Its residue accelerate the hydration heat. Therefore, the retarding effect on hydration was observed through the use of calorimetry and setting time. It is observed that the nucleation and crystallization of gypsum occur more quickly than the retardant process of additive in the presence of residues.

1 Introdução

O gesso era usado como material de construção desde os tempos egípcios, em ornamentação nas paredes interiores de pirâmides, assim como na elaboração de afrescos em igrejas e capelas no período românico [1].

No Brasil, atualmente, a maior parte do gesso ainda é empregada na construção civil, seja para fundição – na fabricação de pré-moldados, placas, blocos e chapas de gesso – ou para revestimento – em paredes e tetos.

1.1 Justificativa

Na indústria de construção civil a utilização do gesso só tende a aumentar, pois se observa uma grande produtividade e apesar de todo o desperdício, ainda é um revestimento de baixo custo. O custo poderia se reduzir ainda mais caso não houvesse a geração de tanto resíduo como é apresentado no cenário atual. Por isso a motivação de várias pesquisas nos últimos anos.

As pesquisas mostraram basicamente dois objetivos: evitar o desperdício, aumentando o tempo de utilização do gesso; e reutilizar o resíduo, por calcinação ou adição do mesmo na pasta.

No Brasil não foi encontrada uma pesquisa que tivesse como objetivo unir a reutilização de resíduo e adição de aditivo retardador de pega à pasta.

1.2 Objetivos

Esta pesquisa tem como objetivo estudar a influência de retardador de pega em pastas de gesso com adição de seu resíduo para utilização em revestimento interno de parede.

2 Revisão Bibliográfica

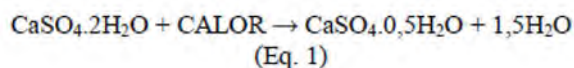
A procura pela utilização de gesso esta aumentando rapidamente, pois a sua aplicação é mais rápida e de baixo custo [2]. Como principal vantagem, destaca-se os ganhos de produtividade quando comparado aos revestimentos de argamassa. Esses revestimentos, emboço e reboco, necessitam de pelo menos 30 dias de espera entre sua aplicação e a aplicação do produto final. Mais de quatro vezes o tempo que é necessário no revestimento de gesso [3, 4].

Atualmente não se pode dizer que seu uso tenha tradição no Brasil, embora a produção nacional de gipsita tenha alcançado 1,92 milhões de toneladas em 2007. O pólo gesseiro do Araripe surgiu apenas na década de 60 e

60% da produção de gipsita, ou seja, menos de 1 milhão de toneladas, é voltada à indústria de construção, contra 25 milhões de toneladas de cimento e 2 milhões de toneladas de cal, outros dois aglomerantes inorgânicos existentes [5, 6, 7].

A maior utilização da gipsita (sulfato de cálcio dihidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) encontra-se na agricultura e na indústria cimenteira. Todavia, quando passa pelo processo de desidratação, conhecido como calcinação, é transformada em gesso e utilizada em grande parte, na indústria de construção civil como gesso para fundição ou para revestimento [8].

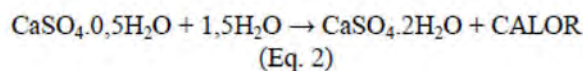
O processo de calcinação da gipsita consiste em sua exposição ao calor (equação 1), que pode ser realizado em pressão atmosférica, obtendo-se o gesso beta que é utilizado em construções. Ou em pressões maiores que a atmosférica, gerando o gesso alfa, utilizado em odontologia ou ortopedia. Este tipo de gesso possui maior dureza, maior resistência e melhor cristalização. Apesar da alta qualidade, este não é utilizado na indústria civil por ser de alto custo [9].



Após este processo, para ser considerado gesso de construção ele deve atender as normas da NBR 13207 [10]. As características mais importantes dessa norma são a quantidade de óxido de cálcio e de anidrido sulfúrico que não devem ser inferiores a 38% e 53%, respectivamente. Estes valores são determinados com ensaios em laboratório como recomendado pela norma MB 3471 [11].

O hemidrato possui algumas características intrínsecas que faz com que ele se torne mais atrativo, exemplos a capacidade de combater a propagação de calor, ter baixo coeficiente de condutividade térmica, expansão e secagem rápida.

O gesso em contato com a água forma uma pasta consistente e trabalhável (equação 2). Em pouco tempo, a pasta endurece ganhando resistência e o hemidrato volta à forma dihidratada.



A hidratação do gesso pode ser explicada pela teoria da cristalização como mostram os trabalhos de LAVOISIER (1798) e Le CHATELIER (1887).

Na hidratação, os cristais do hemidrato se dissolvem saturando a solução com íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} , quando então

eles precipitam em forma de agulhas aumentando a concentração de cristais e endurecendo a pasta. Os dois fatores que mais influenciam esta reação são a relação água/gesso e a quantidade de impurezas e gipsitas presentes no pó. A cinética da reação será menor, quanto maior for a relação água/gesso, pois o aumento na quantidade de água interfere no tempo necessário para a saturação da pasta [12]. Em relação às impurezas, elas podem funcionar como núcleos de cristalização, acelerando a pega, ou podem atuar como aditivos retardadores [13].

Após a utilização do gesso o dihidrato formado tem a mesma fórmula química original da gipsita. Contudo há diferenças entre a matéria-prima e o produto da hidratação:

- dihidrato possui estrutura porosa, causada pelo excesso de água na preparação da pasta [3];
- A rápida nucleação no processo de hidratação provoca uma orientação cristalográfica aleatória [3];
- A gipsita possui densidade aparente de 2,3 t/m³; e o dihidrato tem uma grande quantidade de poros e densidade aparente de 0,5 a 1,5 t/m³ [3].

O rápido endurecimento do gesso aliada com a mão-de-obra pouco qualificada encontrada no setor de construção civil faz com que o gesso gere mais resíduos do que o normalmente gerado pelo cimento ou cal [14].

De acordo com o projeto FINEP HABITARE, 45% é o desperdício de gesso de revestimento na construção civil [7].

Por motivos deste e de outros desperdícios encontrados, surgiu o CONAMA que tem por objetivo reduzir o impacto ambiental. De acordo com a Resolução nº 307 de 05 de julho de 2002, o resíduo de gesso está classificado como classe C, que corresponde aos materiais que ainda não foram desenvolvidos tecnologias ou aplicações viáveis que permitam a reutilização. A geração de resíduos não infringe as normas, porém a empresa geradora deve ter como objetivo reduzir, reciclar ou reutilizá-los. Também não se pode destinar o gesso em aterros sanitários pois nas condições de umidade e devido ao baixo pH, ação de bactérias redutoras de sulfato podem formar ácidos tóxicos e inflamáveis contaminando o solo e lençol freático [15, 16, 17].

A maior parte do desperdício de gesso se encontra na utilização para revestimento. Porém com as diversas pesquisas já realizadas no Brasil e em outros países, pode-se perceber que a reciclagem é possível [18].

A Lafarge, por exemplo, é uma empresa líder mundial em matérias de construção e foi a primeira na reciclagem deste resíduo utilizando-o na fabricação do cimento [19].

Muitas pesquisas já foram feitas para dar mais confiança as tecnologias de reaproveitamento do gesso. Harada [20] e Fiano [21], por exemplo, coletaram resíduos e recalcinaram, percebendo que o mesmo podia ser utilizado como gesso de fundição. Nita et al [22] fizeram uma pesquisa semelhante. Apresentaram como solução reutilizar o gesso sem calcinação e com calcinação a 140 °C. Tiveram bons resultados mecânicos apesar da aceleração do tempo de pega.

Uma forma de reutilizar o resíduo é adicioná-lo na pasta de gesso. Schmitz e Póvoas [2] adicionaram teores de 0%, 5% e 10% e verificaram resultados satisfatórios. Entretanto, as curvas de calor de hidratação mostraram que a hidratação da pasta foi acelerada, diminuindo assim o tempo de pega, e conseqüentemente o tempo útil.

A proposta de Antunes e John [4] é a alteração da formulação utilizando a cal hidratada na pasta de gesso visando ampliar o tempo útil.

Outras sugestões para prolongar o tempo útil é utilizar aditivos retardadores, objeto de estudo de HINCAPIÉ [23]. Aditivos são substâncias utilizadas para melhorar o rendimento de uma propriedade, baseando-se nos estudos de reações químicas entre o aditivo e a substância que se deseja alterar. Nesta pesquisa percebeu-se que todas as substâncias retardadoras estudadas afetam negativamente as propriedades mecânicas. Porém algumas ainda apresentam desempenho satisfatório, como por exemplo, citratos, bórax, fosfato e peptona.

Alguns aditivos desempenham uma função importante nos processos de nucleação e crescimento dos cristais. Na transformação do hemidrato para o dihidrato, por exemplo, são frequentemente utilizados e estudados para alterar o tempo de pega da pasta [24].

De acordo com pesquisas anteriores se observou que ácidos orgânicos fracos e seus sais com bases fortes atuam como retardadores de pega [25, 26].

Na pesquisa realizada por Badens, Veesler e Boistelle [27] foi constatado que o efeito retardador é diretamente proporcional a concentração de aditivo, no caso deste ser um inibidor que diminua ou interrompa a reação química. Também foi apresentada uma relação entre a taxa de efeito retardador do aditivo e o arranjo molecular do mesmo.

Também é possível perceber, de acordo com as pesquisas de Hincapié [3] e Singh et al [25], que os aditivos alteram o crescimento e a morfologia do cristal. Estas mudanças são de acordo com a configuração molecular e concentração da substância. O processo de nucleação e crescimento do cristal pode ser alterado por

diferentes tipos de retardadores e formar variadas microestruturas.

Em geral, no gesso endurecido, os cristais aparecem em forma de agulha sem orientação definida (Figura 1). Com a adição de retardadores os cristais se apresentam como pacotes de agulhas ou com formatos mais hexagonais e arredondados, mais grossos que o normal, sem apresentar entrelaçamento entre eles (Figura 2).

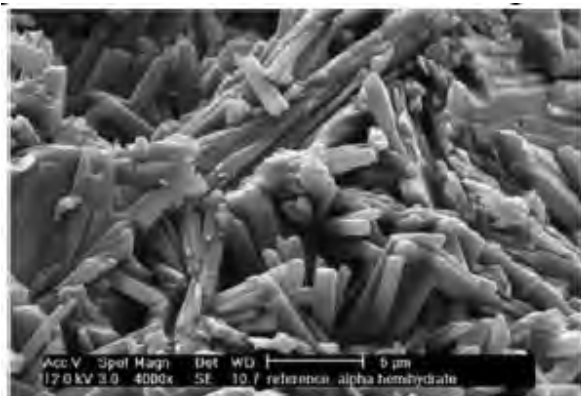


Fig 1. Gesso (referência)

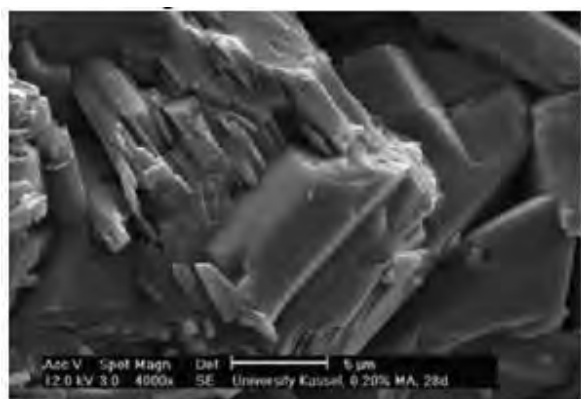


Fig 2. Gesso com retardador

3 Metodologia

Para toda a pesquisa foram utilizados gesso de construção para revestimento, resíduo e aditivo retardador de pega.

O gesso foi analisado quimicamente e comparado com os valores exigidos pela norma NBR 13207 [10]. As duas amostras, G1 e G2 no Quadro 1, foram retiradas do mesmo material e comparadas.

Apesar de a água livre ter porcentagem inferior a 1,3 como indicado pela norma NBR 13207 [10], o material se mostrou em desacordo na quantidade de sulfato em SO_3 e na quantidade de Cálcio. O primeiro estava em 32,02% e

o segundo, 32,64%. Diferente dos valores mínimos exigidos de 38% e 53%, respectivamente.

O módulo de finura do gesso foi determinado como 1,00 caracterizando o material como gesso fino de acordo com a norma NBR 13207 [10] que caracteriza gesso grosso aqueles que possuem módulo de finura maior que 1,10. Nessa mesma norma, é determinado o valor mínimo da massa unitária, que não pode ser inferior a 700 kg/m^3 . O gesso estudado atingiu o valor de $708,78 \text{ kg/m}^3$, portanto, maior que o mínimo exigido. Estes ensaios foram executados de acordo com a norma brasileira MB 3468 [28].

Quadro 1. Análise química dos materiais

PARÂMETRO	Gesso Natural		Gesso Beneficiado	
	G1	G2	R1	R2
Umidade a 45 ° C	1,14%	1,12%	0,35%	0,38%
Anidrido Sulfúrico (em SO_3)	32,02%	29,60%	33,00%	31,72%
Cálcio (em Ca)	11,96%	13,60%	13,56%	13,02%
Cálcio (em CaO)	16,62%	19,04%	18,97%	18,22%
Resíduos Insolúveis SiO_2	7,50%	19,03%	23,40%	34,85%

O resíduo foi conseguido em obra na região metropolitana do Recife – PE, que foi obtido após executar revestimento interno de parede. A empresa de execução respeitava as práticas sugeridas de revestimento de gesso, como por exemplo, a utilização de lona plástica no piso para posterior recolhimento do gesso hidratado sem contato com outros resíduos da construção. Porém a empresa ainda não utilizava o resíduo na preparação da pasta. Depois de obtido, o gesso foi moído e peneirado com peneira de abertura 1,2 mm. Essa dimensão foi escolhida porque resíduos muito finos facilitam a formação de cristais diminuindo o tempo útil, e se muito grossos, dificultam a homogeneização da pasta. A análise química de duas amostras do mesmo resíduo pode ser encontrada no Quadro 1. O resíduo, em sua composição assemelha-se com o gesso natural. Sua maior diferença está na porcentagem de resíduos insolúveis encontrado.

O aditivo retardador de pega foi obtido em São Paulo – SP e indicava ser usado na relação 15 g para cada 40 kg de gesso. Embora o fabricante não tenha fornecido o princípio ativo do aditivo, foi feita a análise química do produto e seu resultado está apresentado na Tabela 1. Nota-se que as maiores porcentagens dos compostos indicados estão com o CaO e o MgO.

Tabela 1. Análise química do aditivo

Amostra	Aditivo (%)
Na ₂ O	5,78
MgO	4,91
Al ₂ O ₃	0,05
SiO ₂	0,99
P ₂ O ₅	0,03
SO ₃	0,12
Cl	1,68
K ₂ O	0,02
CaO	20,1
Cr ₂ O ₃	0,01
MnO	não detectado
Fe ₂ O ₃	0,03
NiO	< 0,01%
SrO	0,01

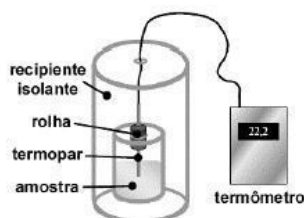
A perda ao fogo a 1050°C por uma hora foi de 66,2%.

Para os ensaios, a argamassa de gesso foi preparada com adição de 0, 5 e 10% de resíduo, com e sem a presença de aditivo.

Os ensaios no estado fresco de consistência e tempo de pega foram executados de acordo com a norma alemã DIN 1168 [29]. A consistência é a relação entre a massa de água e a de gesso. É determinada pesando 100g de água destilada e logo após determina-se a quantidade de gesso necessária para saturar estas 100g. Neste ensaio o valor da consistência foi de 0,7, deixando a pasta com uma consistência fluida. Esta consistência é facilmente encontrada em obra, o que é um ponto positivo, pois facilitou a mistura nos ensaios que necessitavam de adição de resíduo.

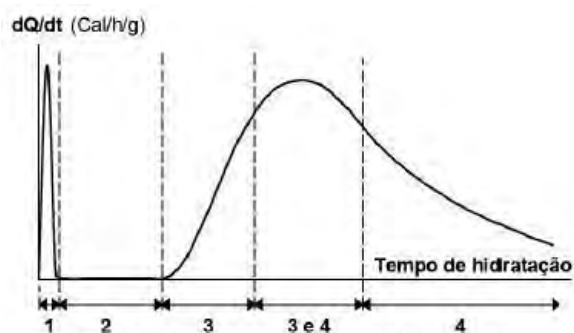
O ensaio de tempo de pega necessita de uma placa de vidro, uma espátula e um cronômetro. A pasta foi deramada na placa de vidro na tentativa de formar um disco de 10 cm de diâmetro por 5 mm de espessura. O início de pega foi dado no tempo em que ao fazer um corte com a espátula no disco, este não mais se fechava. O fim de pega é o tempo em que ao pressionar o dedo no disco de gesso as impressões digitais não se conservavam.

O calor de hidratação é um ensaio realizado por um calorímetro pseudo-adiabático (Figura 3) que pode fornecer um gráfico de calor em função da temperatura. Este gráfico, como demonstrado na Figura 4, possui quatro etapas e com ele é possível determinar o tempo de início e fim da pega.

**Fig 3.** Esquema de um calorímetro pseudo-adiabático

Na primeira etapa encontra-se um pico, relacionado com a molhagem do pó com a água, comum a todos os aglomerantes. Na etapa dois observa-se o período de indução onde os cristais começam a se arrumar. A próxima etapa começa quando a temperatura muda mais de 1°C por minuto, caracterizando o início de pega. Por fim, depois de passar pela temperatura máxima, que é o tempo de fim de pega, a temperatura diminui, porém ainda há crescimento de alguns cristais que vão influenciar nas propriedades mecânicas do gesso.

Estas propriedades mecânicas, resistência e dureza, foram medidas de acordo com a norma brasileira MB 3470 [30].

**Fig 4.** Curva geral do calor de hidratação

4 Resultados

Os tempos de pega podem ser comparados na Tabela 2. O início da pega do gesso se apresentou de acordo com a norma brasileira para gesso de construção (>10 min), entretanto o fim de pega aconteceu antes do indicado pela norma (>45 min) [10].

Tabela 2. Tempo de pega

Amostra	Início (min)	Fim (min)
0%	13,9	28,3
5%	6,8	12,0
10%	5,7	8,6
0% + aditivo	100,8	135,8
5% + aditivo	14,5	23,8
10% + aditivo	7,0	12,2

Ao adicionar 5 e 10% de resíduo observa-se a diminuição dos tempos do início e do fim de pega. Quanto maior a porcentagem de resíduo, menores os tempos de pega, conforme o esperado, de acordo com pesquisas anteriores.

A adição do aditivo retardador foi bastante eficiente no gesso sem resíduos, retardando por mais de uma hora o início e fim de pega, inclusive aumentando a diferença entre eles. Nas argamassas de gesso, o aditivo não se mostrou

tão eficiente. O tempo de pega nas misturas com 10% de resíduo subiu de 5,7 minutos para apenas 7 minutos. Pode-se notar a queda no seu desempenho observando a Figura 5.

Os tempos de início e fim de pega observados na argamassa com 5% de resíduo mais aditivo (14,5 min e 23,8 min, respectivamente) foram aproximadamente os mesmos encontrados para a pasta de gesso sem resíduo e sem aditivo (13,9 min e 28,3 min, respectivamente). Com estes dados pode-se considerar que o aditivo pode auxiliar a reciclagem, ou seja, pode-se utilizar adição de 5% de resíduo obtendo-se resultados semelhantes à pasta de gesso.

Ainda para caracterização da pasta e confirmação dos resultados de tempo de pega, foram feitos os ensaios de calorimetria. É possível perceber com a Figura 6(a), que a curva é semelhante quando há a presença de resíduos na pasta, independente do uso de aditivos. A Figura 6(b) mostra que com a adição de resíduos, a curva de calor de hidratação se desloca para a esquerda. O deslocamento é maior quanto mais resíduo é adicionado.

Comparando os gráficos pode-se perceber que com a adição de aditivo, o período de indução é prolongado. A curva entre o ponto de início de pega e seu pico (fim de pega) sofre uma sutil inclinação para a direita. Esta inclinação é devido ao tempo entre o início e fim de pega que é ampliado, aumentando o tempo de utilização da pasta.

Na Figura 7 é possível comparar todas as curvas. Pode-se notar os deslocamentos das curvas fixando a curva "0% - sem aditivo" como referência. Notamos que todas as outras se deslocam para a esquerda com exceção da curva da pasta com o aditivo retardador de pega.

Os resultados dos ensaios mecânicos podem ser comparados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados dos ensaios mecânicos

Amostra	Dureza (u.s.c.)	Resistência à compressão (MPa)
0%	99,5	11,09
5%	99,4	11,34
10%	99,4	10,46
0% + aditivo	99,0	10,27
5% + aditivo	98,9	11,06
10% + aditivo	98,8	9,76

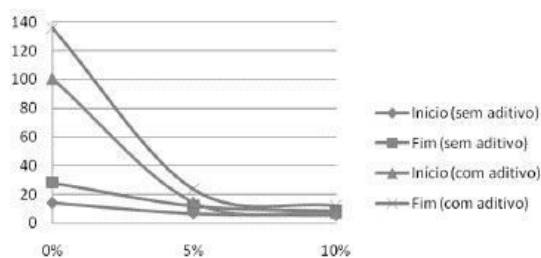
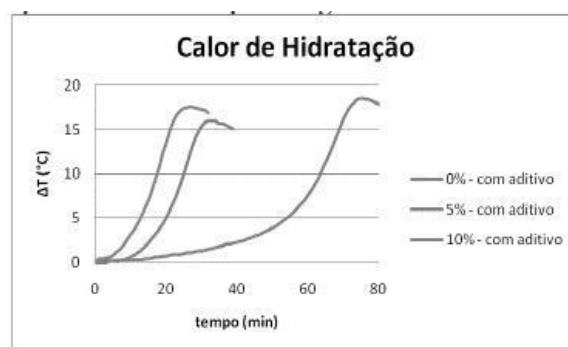


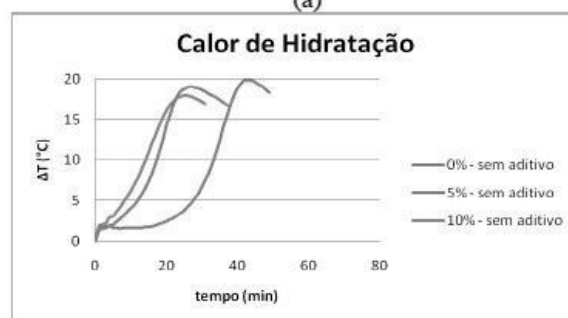
Fig 5. Tempo de início e fim de pega vs. teor de resíduo (em argamassas com e sem aditivo)

Percebe-se uma queda nos valores de dureza quando adicionado resíduo e aditivo. Porém nada muito significativo.

Com relação à resistência à compressão nota-se um pequeno acréscimo dos resultados quando adicionado 5% de resíduo, porém ao incrementar este teor a resistência apresenta uma queda. Comparando a utilização do aditivo, percebe-se que este afeta negativamente a resistência. Entretanto, uma vez que a norma brasileira [10] exige uma resistência à compressão maior que 8,4 MPa, não é necessário se preocupar com estes valores, já que todos eles se apresentaram maior que o exigido.



(a)



(b)

Fig 6. Calor de hidratação das argamassas de gesso com resíduo. (a) com aditivo. (b) sem aditivo.



Fig 7. Calor de hidratação de todas as argamassas estudadas

5 Conclusões

A adição de retardador de pega na argamassa de gesso, formulada com 5% de resíduo, pode diminuir os custos que uma empresa aplicadora de gesso geralmente possui para transportar e armazenar o que é desperdiçado. Aumentando-se a quantidade de resíduo o tempo de pega é diminuído, assim como o tempo útil que o profissional tem para a execução do revestimento. Ao adicionar o aditivo retardador, este tempo é incrementado, porém a argamassa com 10% de resíduo ainda não se apresenta satisfatória para o uso.

Pode-se observar que a rapidez na cristalização do gesso é diretamente proporcional ao teor de resíduo adicionado. Ao inserir o retardador de pega na mistura, a rapidez na cristalização diminui. Como consequência a resistência à compressão e a dureza são afetadas negativamente.

Referências

- [1] Disponível em: <itacultural.org.br/aplicexternas/enciclopedia_ic/index.cfm?fuseaction=termos_texto&cd_verbete=54>. Acesso em: 12/ 09/ 2010.
- [2] SCHMITZ, I.B.T.A.; PÓVOAS, Y.V. Estudo do desempenho da pasta de gesso com adição de seu resíduo como revestimento interno de paredes. In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2009, Curitiba. Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2009
- [3] HINCAPIE, A.M. Influência dos aditivos retardadores de pega na hidratação do hemidrato beta natural. 1997. 0 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo.
- [4] ANTUNES, R.P.N.; JOHN, V.M. Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso endurecidas. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, VIII, 2000, Salvador/BA. Anais do VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Salvador : ANTAC, 2000.
- [5] Disponível em : <dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento /SumarioMineral2008/gipsita.pdf>. Acesso em: 12/ 09/ 2010
- [6] BALTAR, C.A.M.; BASTOS, F.F.; LUZ, A.B. Diagnostico do pólo gessífero de Pernambuco (Brasil) com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento. Disponível em: <www.minas.upm.es/jornadas/IV JORNADAS/PONENCIAS%20y%20COMUNICACIONES/MAGALHAES%20Carlos_IV%20IBERMAC.pdf>
- [7] AGOPYAN, V.; SOUZA, U.E.L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A.C. Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras.. In: Formoso, C. T; Ino, A. (Org.). Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento Habitacional. Porto Alegre: ANTAC, 2003, v. 1, p. 224-249.
- [8] PEREZ, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V.A. dos - O Gesso: Produção e Utilização na Construção Civil. Recife: Editora Bagaço, 2001, 156 p.
- [9] SOARES, J.P.; SHINOHARA, A.H.; LEITE, L.R.P; SUZUKI, C.K. Caracterização do Gesso-Alfa Produzidos por Processo Hidrotermal e Calcinação sob Pressão de Vapor de Água pela Técnica de Difração de Raios-X de Alta Resolução.. In: 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2005, 2005, São Pedro - SP.. Anais do 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2005. v. 1. p. 1-12.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gesso para construção civil: especificação. -NBR 13207. Rio de Janeiro, 1994.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gesso para construção civil: determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico. - NBR 12130/MB 3471. Rio de Janeiro, 1991.
- [12] PÓVOAS, Y.V.; LORDSLEEM JR., A.C.; SCHMITZ, Í.B.T.A.; JOHN, V.M. Reaproveitamento do resíduo de gesso na execução de revestimento interno de vedação vertical. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 103-119, jan./mar. 2010.

- [13] JOHN, V.M.; CINCOTTO, M.A. Gesso de Construção Civil. ISAIA, G.C. Ed. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais – São Paulo: IBRACON, 2007 2v.
- [14] Disponível em: <indusgesso.org.br/polo_gesso.asp>. Acesso em: 12/ 09/ 2010.
- [15] CARDOSO, F.A.; AGOPYAN, A.K.; CARBONE, C.; JOHN, V.M.; PILEGGI, R.G. Caracterização reológica de revestimentos à base de gesso por squeeze-flow. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- [16] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n. 307 de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.
- [17] GUSMÃO, A.D. Manual de Gestão de Resíduos da Construção Civil. 1. ed. Camaragibe/PE: CCS Editora e Gráfica, 2008. v. 01. 140 p.
- [18] ARAGÃO JR, J.A. Reaproveitamento dos resíduos de gesso de revestimento interno de parede utilizados na construção civil. Universidade de Pernambuco (monografia), 2009.
- [19] Disponível em: <revistafator.com.br/ver_noticia.php?not=17414>. Acesso em: 12/ 09/ 2010.
- [20] HARADA, E.; PIMENTELI, L.L. Estudo da viabilidade do reaproveitamento de gesso – Queima lenta. *Anais do XIV Encontro de Iniciação Científica da PUC-Campinas - 29 e 30 de setembro de 2009*
- [21] FIANO, M.B.S.; PIMENTEL, L.L. Estudo da viabilidade do reaproveitamento de gesso – Queima rápida. *Anais do XIV Encontro de Iniciação Científica da PUC-Campinas - 29 e 30 de setembro de 2009*
- [22] NITA, C.; PILEGGI, R.G.; CINCOTTO, M.A.; JOHN, V.M. Estudo da Reciclagem do Gesso de Construção. I Conferência Latino-americana de Construção Sustentável. X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 04). De 18 a 21 de julho 2004, São Paulo.
- [23] HINCAPIE, A.M.; CINCOTTO, M.A.. Seleção de substâncias retardadoras do tempo de pega do gesso de construção. São paulo: escola Politécnica - USP, 1997 (Boletim Técnico).
- [24] BRANDT, F.; BOSBACH D. Bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) dissolution and gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) precipitation in the presence of cellulose ethers. *Journal of Crystal Growth* (2001). Germany
- [25] SINGH, N.B.; MIDDENDORF, B. Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 2007
- [26] SONG K.M.; MITCHELL, J.; JAFFEL, H.; GLADDEN, L.F. Simultaneous monitoring of hydration kinetics, microstructural evolution, and surface interactions in hydrating gypsum plaster in the presence of additives. *J Mater Sci*, 2010. DOI 10.1007/s10853-010-4572-7
- [27] BADENS, E.; VEESLER, S.; BOISTELLE, R. Crystallization of gypsum from hemihydrate in presence of additives. *Journal of Crystal Growth*, n 198/199, p.704-709, 1999.
- [28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gesso para construção civil: determinação das propriedades físicas do pó. - NBR 12127/MB 3468. Rio de Janeiro, 1991.
- [29] DEUTSCHIE INSTITUT FUR NORMUNG. Building plaster: requirements, testing control. – DIN 1168: part 2, Berlim, 1975.
- [30] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gesso para construção civil: determinação das propriedades mecânicas. - NBR 12129/MB 3470. Rio de Janeiro, 1991.

Amplificação e clonagem de pulsos curtos em amplificadores ópticos paramétricos a fibra óptica.

A. V. Nascimento

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
allisson_vieira@hotmail.com

João F. L. de Freitas

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
joaoflf@poli.br

Resumo

Pulsos curtos são amplamente utilizados nas telecomunicações ópticas por suas características essenciais para sistema de comunicações ópticas em taxas de transmissão de Gbits/s. Assim, estudamos a amplificação de pulsos de 5 ps em um amplificador óptico paramétrico via simulação computacional.

Abstract

Short pulses are widely used in optical telecommunications for their essential characteristics to optical communication system at data rates of Gbits/s. Thus, we have studied the amplification of pulses of 5 ps in an optical parametric amplifier through computer simulation.

1 Introdução

O texto começa aqui. Títulos de seções devem usar o estilo “**Titulo**” do menu de estilos. Para o texto use o estilo “**Body Text**” (Times 10). Referências devem ser chamadas no texto usando números [2,3], e, caso os autores assim desejarem, por exemplo, de acordo com Freire [4].

O desenvolvimento das modernas telecomunicações ópticas (CO) deve-se principalmente aos estudos de efeitos de propagação de luz em fibras ópticas, os quais podem ser classificados como lineares (EL) e não lineares (ENL) [1,2,3,4,5].

A resposta de um meio a passagem de uma onda eletromagnética é representada pela polarização elétrica. Esta resposta se processa em vários níveis. Quando a polarização elétrica for linear com a amplitude do campo eletromagnético dizemos que esta resposta é um efeito linear, e quando a polarização é proporcional ao quadrático ou de ordem maior com a amplitude do campo podemos dizer que o efeito é não linear [1,2,3]. A principal consequência desta definição é que os EL não geram novas frequências ópticas durante a propagação, enquanto os ENL são caracterizados pela geração de novas componentes de frequência durante a propagação do campo eletromagnético no guia de onda. Os ENL ocorrem por uma resposta não linear da polarização eletromagnética, isto se deve a dois fatores ou sua combinação:

1. O campo tem intensidade alta;
 2. O meio é composto por materiais que possuem alta resposta não linear. Por exemplo, fibras ópticas de sílica dopadas com germânio; fibras ópticas dopadas com Érbio.
- De um modo geral, podemos observar ENL como uma mudança no índice de refração do meio como uma função da intensidade óptica.

Dentre os principais EL: atenuação, dispersão de modos de propagação, dispersão de modos de polarização e cromática [1].

Dentre os principais ENL: auto-modulação de fase AMF, modulação de fase cruzada MFC, espalhamento Brillouin estimulado, espalhamento Raman estimulado, mistura de quatro ondas FWM. Instabilidade modulacional, conversão ascendente de frequência [1,2].

ENL são os principais limitadores das taxas de comunicação e do tamanho dos enlaces totalmente ópticos, bem como, podem ser usados no desenvolvimento de dispositivos ópticos, como por exemplo: Amplificadores ópticos, conversores de comprimento de onda, lasers pulsados e CW e etc [3,4].

Dentro dos ENL nos chama a atenção o efeito de mistura de quatro ondas que é a base para construção e desenvolvimento de amplificadores ópticos paramétricos a fibra (FOPA) [1,2,3]. Veja na figura 1 um diagrama idealizado de um FOPA. Estudos de amplificadores ópticos são abundantes na literatura [6-13], estes amplificadores são amplamente utilizados em diversas situações em comunicações ópticas [1].

Pulsos curtos (1-50 ps) são essenciais em sistemas de comunicações ópticas de alto desempenho (Gbits/s), por exemplo para pulsos com *bit slots* de 10 ps (~100 Gbits/s) temos que ter pulsos de no máximo 5 ps. Assim estudarmos as mudanças do seu perfil temporal ao longo de um meio ganho é essencial para uma definição da qualidade do amplificador.



Fig.1: Montagem experimental de um FOPA, WDM1 acoplasi-nal e bombeamento, WDM2 desacopla sinal e idler e remove bombeamento residual, ISO são isoladores ópticos.

Neste trabalho, desenvolvemos, via simulação computacional estudos sobre amplificação e clonagem de pulsos de 5 ps em FOPA.

2. Modelagem computacional

A simulação computacional da amplificação e clonagem de pulsos em amplificadores ópticos paramétricos a fibra óptica pode ser obtida mediante a resolução da equação não linear de Schrödinger. Esta equação se caracteriza por traduzir perfeitamente os efeitos lineares e não lineares presentes na propagação da luz na fibra óptica e é definida como:

$$\frac{\partial A}{\partial z} = -\frac{\alpha A}{2} - \frac{i\beta_2}{2} \frac{\partial^2 A}{\partial T^2} + \frac{\beta_3}{6} \frac{\partial^3 A}{\partial T^3} + i\gamma |A|^2 A \quad (1)$$

onde: A - é a amplitude transversal do campo elétrico (en-voltória do pulso), γ - é o parâmetro de não linearidade, β_i - é a intensidade dos osciladores que participam da i -ésima ressonância (parâmetro responsável pela dispersão cromática) e α - parâmetro de atenuação.

Analisamos o comportamento dos sinais no meio, resolvendo numericamente a equação de propagação utilizando técnicas numéricas tais como, Split-Step Fourier [1,4] e Diferenças finitas.

O Split-Step (Fourier), em análise numérica, é um método pseudo-espectral. Tal método numérico é utilizado para resolver equações diferenciais parciais, a exemplo da equação não-linear de Schrödinger. Utilizamos esse método, haja vista que nas equações de propagação de luz em fibras ópticas ocorre a interação de mecanismos lineares e não lineares, o que dificulta encontrar soluções analíticas gerais.

Tanto a parte linear como a não linear, isoladas, têm soluções analíticas. Todavia, a equação não linear de Schrödinger composta desses dois termos não tem uma solução analítica geral. Assim, se apenas um pequeno passo “h” é tomado ao longo de “z”, as duas partes podem ser tratadas separadamente com apenas um pequeno erro “numérico”.

Após a aplicação desse método numérico à equação não linear de Schrödinger (1) encontramos uma equação referente aos mecanismos lineares (Parte Linear) e outra aos não lineares (Parte Não Linear), são elas:

1. Parte Linear: equação complexa que pode ser desmembrada em sua parte real e imaginária da seguinte forma:

- Parte real:

$$R[\tilde{A}(z+h, \omega')] = R[\tilde{A}_j(z)] e^{\frac{-\alpha h}{2} \cos(\phi)} + I[\tilde{A}_j(z)] e^{\frac{-\alpha h}{2} \sin(\phi)}$$

- Parte imaginária:

$$I[\tilde{A}(z+h, \omega')] = I[\tilde{A}_j(z)] e^{\frac{-\alpha h}{2} \cos(\phi)} - R[\tilde{A}_j(z)] e^{\frac{-\alpha h}{2} \sin(\phi)}$$

onde: $\square$ - é definido como:

$$\phi = \left[\frac{-\beta_{2j}}{2} (\omega_j'^2 + \omega^2) + \frac{\beta_{3j}}{6} (\omega^3 + 3\omega_j' \omega^2 + 3\omega_j'^2 \omega + \omega_j'^3) \right] h$$

2. Parte Não linear: Também é uma equação complexa que pode ser separada em sua parte real e imaginária da seguinte forma:

- Parte real:

$$R[A_j(z+h)] = R[A_j(z)] e^{\Phi_1} \cos(\Phi_2) - I[A_j(z)] e^{\Phi_1} \sin(\Phi_2)$$

- Parte imaginária:

$$I[A_j(z+h)] = R[A_j(z)] e^{\Phi_1} \sin(\Phi_2) + I[A_j(z)] e^{\Phi_1} \cos(\Phi_2)$$

onde: Φ_1 e Φ_2 - são definidos como:

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= \frac{\gamma P_B e^{-\alpha z} h \cos(2\gamma P_B z) [R(A_m)I(A_j) + R(A_j)I(A_m)]}{|A_j|^2} \\ &\quad + \frac{\gamma P_B e^{-\alpha z} h \sin(2\gamma P_B z) [I(A_m)I(A_j) - R(A_m)R(A_j)]}{|A_j|^2} \\ \Phi_2 &= \gamma h (2P_B e^{-\alpha z} + 2|A_m|^2 + |A_j|^2) \\ &\quad + \frac{\gamma P_B e^{-\alpha z} h \cos(2\gamma P_B z) [R(A_m)R(A_j) - I(A_m)I(A_j)]}{|A_j|^2} \\ &\quad + \frac{\gamma P_B e^{-\alpha z} h \sin(2\gamma P_B z) [R(A_m)I(A_j) + R(A_j)I(A_m)]}{|A_j|^2} \end{aligned}$$

O delineamento mostrado acima exibe os passos algébricos necessários para obtermos as equações base para criação do algoritmo de simulação de pulsos curtos. Em nosso caso, optamos por programação em linguagem C/C++.

3. Pulsos Curtos

As atuais pesquisas técnicas e científicas das diversas áreas das telecomunicações têm em comum o objetivo de transmitir um maior número de informações com menor perda de dados. Os resultados obtidos da propagação de pulsos curtos em FOPA mostraram-se uma medida eficaz e muito vantajosa para tal finalidade.

Definem-se pulsos curtos como aqueles cuja largura a meia altura do pulso encontra-se na faixa de 1-50 ps. Essa característica em telecomunicações ópticas promove uma maior transmissão de dados em um menor 'bit-slot' e isso significa um grande avanço nas comunicações.

As figuras 3.1 e 3.2 mostram a amplificação do sinal e do “idler” em guias de ondas cilíndricos com uma largura a meia altura igual a 5 ps. Assim, podemos por exemplo criar *bit slots* de 10 ps (taxas de transmissão de 100 Ghz por canal óptico) o que nos fornece possibilidades de taxas de transmissão de bits maiores que o atual estado da arte (40 a 80 Ghz). Na figura 3.1 exibe-se a amplificação de aproximadamente 21 dB de um pulso curto de 5 ps com perfil de entrada sech e comprimento de onda em 1549 nm ao longo de uma fibra de 500 m de alta não linearidade.

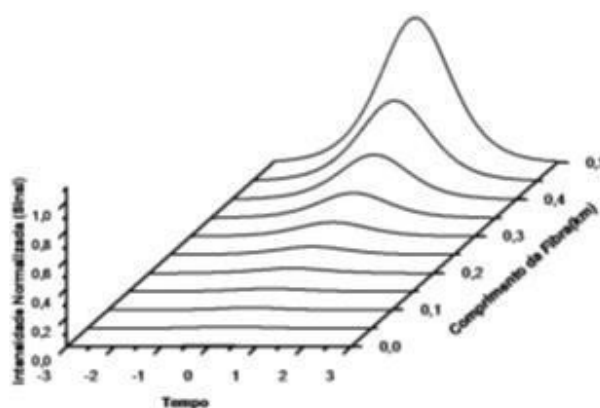


Fig. 3.1: Sinal amplificado através de um amplificador óptico paramétrico (FOPA).

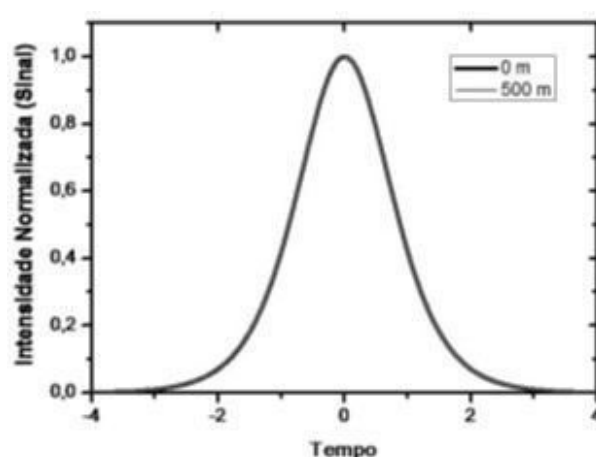


Fig. 3.3: Amplificação do Sinal (5ps)-Potência Normalizada.

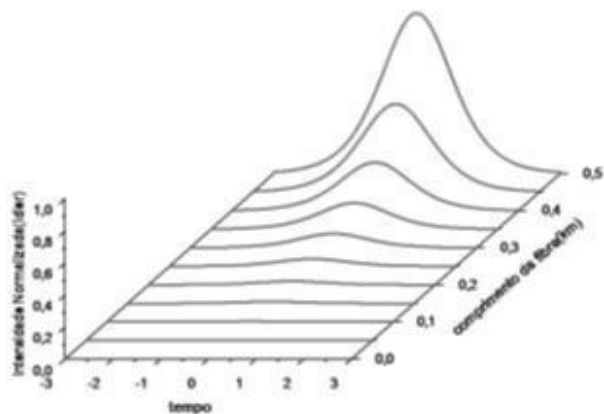


Fig. 3.2: Idler amplificado através da clonagem de pulsos.

A figura 3.3 mostra a intensidade do pulso amplificada de forma normalizada. Percebe-se, portanto, que não há geração de novas frequências, o que é um excelente resultado pois dessa forma não existe distorção no perfil temporal do pulso original ao longo da linha de amplificação.

3.1 Clonagem de Pulsos

Os resultados mostram também o perfeito casamento de fase ocorrido na propagação, o qual proporcionou o surgimento de um pulso de luz em um outro comprimento de onda (*Idler*), ou seja, ocorreu uma clonagem do sinal. Para as telecomunicações ópticas, tal fato é extremamente desejável, tendo em vista que dessa forma é possível a conversão de sinais em comprimentos de onda distintos.

A figura 3.2 exibe a clonagem do pulso curto de 1549 nm em um pulso amplificado de 1521 nm com uma eficiência de conversão de aproximadamente 21dB. As figuras 3.3 e 3.4, mostram a amplificação do sinal e do *idler*, respectivamente, durante a propagação do sinal na fibra. Comparando-as percebe-se que o *idler* inicialmente tem uma potência constante muito baixa da ordem de 10-12 (curva azul da figura 3.4) e esta é amplificada juntamente com o sinal (figura 3.3).

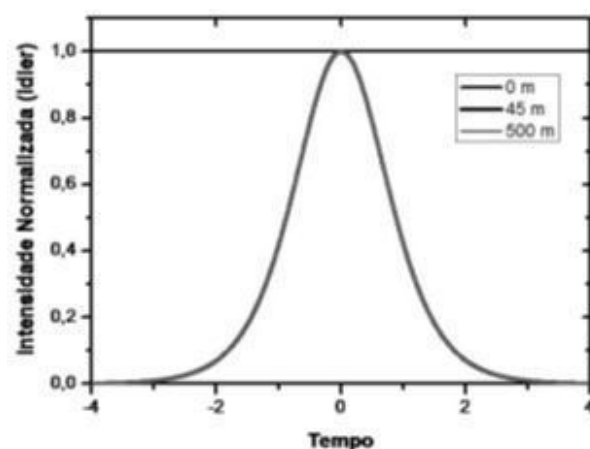


Fig. 3.4: Amplificação do Idler (5ps)-Potência Normalizada.

4. Conclusões

O desenvolvimento desse trabalho proporcionou o conhecimento do comportamento de ENL em sinais ópticos em diversos tipos de guias de onda, mais especificamente, a propagação de pulsos curtos em sistemas WDM [5]. Além disso, observamos que com a utilização e o desenvolvimento de pulsos curtos ampliam-se as possibilidades de pesquisa não somente nessa direção, como também para outros dispositivos e efeitos não lineares. Mediante o exposto, percebemos que investimentos nesse ramo das telecomunicações trarão uma melhoria significativa nos sistemas de comunicações.

6. Agradecimentos

Agradecemos ao programa PIBIC-POLI pelo apoio financeiro essencial para realização desse trabalho.

Referências

- [1] Govind P. Agawal. *Nonlinear Fiber Optics*. Academic Press, 3^a ed., San Diego, 2001
- [2] Robert W. Boyd. *Nonlinear Optics*. Academic Press, San Diego, 1992.
- [3] João F. L. Freitas, *Amplificadores Ópticos, Estudos de Polarização e Geração de Pulsos Usando Processos Paramétricos em Fibras Ópticas*. Tese de Doutorado, Departamento de Física – Universidade Federal de Pernambuco, Recife/Pe, 2007.
- [4] Govind P. Agawal, *Applications of Nonlinear Fiber Optics*, Academic Press, San Diego, 2001.
- [5] Govind P. Agawal, *Lightwave Technology, Telecommunication Systems*. John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [6] I. Tomkos, I. Zacharopoulos, E. Roditi, D. Syvridis, and A. Uskov. *Mechanisms of wave mixing and polarization sensitivity of the wavelength conversion in semiconductor optical amplifiers using two parallel polarized pumps*. Opt. Commun., 163(1):49–54, 1999.
- [7] Qiang Lin and Govind P. Agrawal. *Vector theory of four wave mixing: polarization effects in fiber-optic parametric amplifiers*. J. Opt. Soc. Am. B, 21(6):1216–1224, 2004.
- [8] R. H. Stolen, E. P. Ippen, and A. R. Tynes. *Vector theory of four wave mixing: polarization effects in fiber-optic parametric amplifiers*. Appl. Phys. Lett., 20:62, 1972.
- [9] Thomas Torounidis. *Fiber Optic Parametric Amplifiers in Single and Multi Wavelength Applications*. PhD thesis, Department of Micro technology and Nanoscience, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2006.
- [10] Jonas Hansryd, Peter A. Andrekson, Mathias Westlund, Jie Li, and Per-Olof Hedekvist. *Fiber-based optical parametric amplifiers and their applications*, IEEE J. Select. Top. Quantum electron., 8(3):506–520, 2002.
- [11] João F. L. Freitas, M. B. Costa e Silva, S. R. Lüthi, and A. S. L. Gomes. *Raman enhanced parametric amplifier based S-C band wavelength converter: Experiment and simulations*. Opt. Commun., 255:314–318, 2005.
- [12] S. R. Lüthi, G. F. Guimarães, B.B. C. Kyotoku, J. F. L. de Freitas, M. B. Costa e Silva, A. S. L. Gomes, B. H. Thomas, and J-P von der Weid. *Optical Amplifier Hybrid Devices for S-band Telecommunications - A Comparison*. Optical Amplifiers and Their Applications Conference, page JWB33, 2006.
- [13] G. F. Guimarães, S. R. Lüthi, J. F. L. Freitas, and A. S. L. Gomes. *TDFA/FOPA hybrid of broadband amplification and frequency conversion in optical communications*. Elet. Lett., 42(17):997–998, 2006.

Alocação de Comprimentos de Ondas em Redes Ópticas usando Otimização por Enxame de Partículas

Monteiro, C. C. D

Escola Politécnica de Pernambuco

Universidade de Pernambuco

50.720-001 - Recife, Brasil

Autor1@meu-email

Bastos-Filho, C.J.A

Escola Politécnica de Pernambuco

Universidade de Pernambuco

50.720-001 - Recife, Brasil

Autor2@meu-email

Resumo

Este artigo propõe o uso de uma técnica de computação inteligente baseada na PSO, que trabalha com permutações em listas para a solução do problema de atribuição de comprimentos de onda em redes ópticas. Os estudos feitos até agora indicam que o uso desta técnica com algumas melhorias podem trazer bons resultados na redução da probabilidade de bloqueio na rede..

Abstract

This paper proposes to use a computation intelligence technique based on PSO, it works with lists permutation to solve the wavelength assignment problem in optical networks. Preliminary results indicate that this technique, with some improvement, could obtain good results in reducing the block probabilities in the network..

1 Introdução

Com o objetivo de se estabelecer uma conexão em redes totalmente ópticas [1], um feixe de luz contendo os dados deve percorrer todo o caminho do nó de origem ao de destino. Na maioria das redes atuais, todo esse trajeto tem que ser feito em um mesmo comprimento de onda, devido ao alto custo de tecnologias capazes de converter os comprimentos de onda. Como em um enlace da rede podem passar várias conexões diferentes, em comprimentos de ondas diferentes, é necessário o uso de algum algoritmo que exerça o controle sobre a distribuição dos comprimentos de onda na rede, evitando assim, que uma chamada seja bloqueada.

Durante o processo de estabelecimento de uma chamada, o problema de roteamento e atribuição de comprimento de onda [3] (do inglês, RWA – routing and wavelength assignment) precisa ser resolvido. Este problema costuma ser dividido em duas partes: uma parte para a resolução do roteamento, que trata de encontrar o caminho que a chamada vai percorrer entre os nós de origem e destino; e uma segunda parte referente à atribuição de comprimento de onda, que escolhe por qual canal a chamada vai trafegar.

Neste artigo será proposto o uso da técnica de computação inteligente, conhecida como PSO (*Particle Swarm Optimization*) [2], para solucionar o problema de atribuição de comprimento de onda (do inglês, *Wavelength Assignment*). O PSO será usado para determinar a ordem em que os comprimentos serão usados nas chamadas que chegarem na rede.

Ao longo do artigo, serão demonstrados o problema de atribuição de comprimento de onda na seção 2, uma visão geral sobre o PSO na seção 3, a sua aplicação em redes ópticas na seção 4 e os resultados e conclusão nas seções 5 e 6.

2. Problema de Roteamento e Alocação de comprimento de onda.

Em uma conexão em rede óptica os dados são trafegados por uma fibra óptica através de um feixe de luz, indo de um nó origem a um nó destino. Nas redes ópticas atuais essas fibras apresentam divisão por comprimentos de ondas, permitindo assim que mais de um feixe de luz possa trafegar na fibra ao mesmo tempo.

As redes ópticas podem ser de três tipos, opacas, transparentes e translúcidas. No tipo opaco, em todos os nós da rede é feita uma conversão do sinal óptico para elétrico e de elétrico para óptico novamente para continuar a transmissão, a vantagem dessa abordagem é que em todos os nós é feita uma regeneração no sinal, minimizando assim

as perdas nas transmissões, mas em contrapartida gera um congestionamento na rede, diminuindo o seu desempenho, sem aproveitar assim toda a capacidade das fibras ópticas.

Nas redes translúcidas alguns nós apresentam capacidade de tratar o sinal em domínio óptico e outros não, assim sendo o sinal não necessariamente é convertido em todos os nós, atualmente é o tipo de rede mais usada pois apresenta um desempenho melhor que as opacas e não geram grandes perdas de sinal.

Por fim nas redes transparentes o sinal permanece todo o tempo no domínio óptico, ou seja, todos os nós têm capacidade de tratar sinais ópticos, isso faz com que a rede tenha uma grande capacidade de transmissão de dados, mas em compensação necessita de um grande esforço em estratégias que cuidem da qualidade do sinal, visto que durante todo o caminho ele está exposto a perdas por dispersões, interferências e outros efeitos ópticos.

Nas redes transparentes e translúcidas o sinal óptico pode perder sua qualidade devido as distâncias que ele percorre, e com isso a chamada pode ser perdida. Com isso surge o problema de roteamento e atribuição de comprimento de onda (RWA), que trata de escolher uma rota e um comprimento de onda para a chamada de maneira que diminuam as perdas no sinal, tentando assim minimizar as perdas de dados. O problema RWA costuma ser dividido em dois subproblemas, o de roteamento e o de alocação de comprimento de onda.

2.1. Roteamento

No problema de roteamento o interesse é escolher por quais nós a chamada vai passar do nó de origem ao nó de destino (Figura 1), essa escolha tem de maximizar o aproveitamento da rede e minimizar as perdas.

Existem algumas estratégias para a resolução do problema de roteamento, dentre elas estão [6][7]: o roteamento fixo, onde a rota usada para uma chamada entre um dado par de nós é sempre a mesma, um exemplo de roteamento fixo seria o algoritmo de menor caminho, que como seu nome diz escolhe uma rota que possua a menor distância ou custo associado; o roteamento fixo com alternância, onde são usadas uma rota fixa e uma rota que serve como emergência entre dois nós; o roteamento adaptativo, onde a rota entre um par de nós muda dependendo do estado da rede; e o roteamento tolerante a falhas, onde para uma chamada entre dois nós, além da rota fixa pré-determinada existe uma rota de backup, que não tem nenhum laço em comum com a rota anterior, para ser usada em caso de problemas físicos na rota principal.

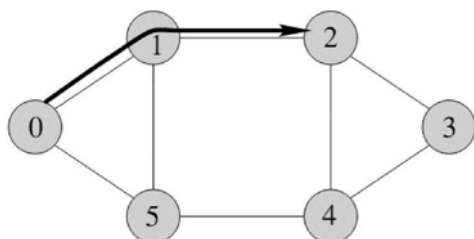


Fig 1. Roteamento de uma chamada entre nós 0 e 2.

2.1. Atribuição de comprimento de onda (WA)

No problema de atribuição de comprimento de onda (WA), o foco é decidir por qual comprimento de onda o feixe de luz vai trafegar com os dados, de forma que minimize as penalidades físicas da rede. Em relação ao problema de WA uma informação importante é saber se a rede apresenta capacidade de conversão de comprimento de onda em seus nós. Em uma rede que apresente tal capacidade a chamada pode trocar de comprimento de onda de um nó para o outro, continuando o seu caminho normalmente, redes desse tipo facilitam o problema de WA, mas seu uso ainda é muito caro. Em redes que não apresentam essa capacidade a chamada tem de percorrer o seu caminho do nó de origem ao nó de destino em um mesmo comprimento de onda (propriedade da continuidade de comprimento de onda), isto faz com que seja necessário um tratamento especial na questão de WA, para que maximize a quantidade de chamadas que a rede pode aceitar.

No problema de WA existem várias heurísticas, cada uma delas com os seus prós e contras [3][5]. Algumas delas são: *random wavelength assignment*, *first fit*, *least used*, *most used*, *protecting threshold*. No *random* a escolha dos comprimentos de onda é feita de modo randômico, sendo assim um algoritmo de fácil implementação mas de baixo desempenho. O *first fit* aloca o primeiro comprimento de onda disponível para uma chamada, sendo assim também apresenta resultados similares ao *random*. O *least used* aloca as chamadas nos comprimentos de ondas que foram menos usados, tentando balancear a carga entre os comprimentos de onda. No *most used* ocorre o inverso do anterior, ele tende a concentrar as chamadas nos canais mais usados, deixando assim um maior número de canais livres para uso caso haja necessidade. Por fim o *protecting threshold* que reserva um limiar de comprimentos de ondas livres, fazendo que para que a chamada seja aceita o número de comprimentos de ondas livres esteja acima desse limiar.

3. Particle Swarm Optimization (PSO)

Similar a outras abordagens que usam computação inteligente, como Algoritmos Genéticos, o PSO é um método de otimização de funções baseado em populações. O PSO trabalha basicamente com indivíduos (também chamados de partículas), que compõem a população, e com o fitness de cada indivíduo, um valor numérico que é usado como parâmetro para saber o desempenho de cada indivíduo na função que se deseja fazer a otimização, essa otimização pode ser tanto de maximização quanto de minimização.

Como outras métricas de computação inteligente o PSO é uma abordagem que trabalha com aproximações, ou seja, ela é usada em problemas em que não se sabe uma solução exata. No PSO cada partícula percorre o domínio da função procurando valores que minimizem ou maximizem a função alvo, as partículas mudam a sua posição a cada iteração. Para a troca de posição entre as iterações é usada uma velocidade, que é influenciada pela melhor posição que a partícula já visitou e também pela melhor posição já visitada por todas as partículas, a partir da velocidade a partícula troca a sua posição e então tem o seu fitness avaliado, caso o fitness seja melhor que qualquer já encontrado por essa partícula essa posição passa agora a influenciar na velocidade, e caso o fitness seja melhor do que qualquer fitness já encontrado por qualquer partícula, então todas as partículas terão suas velocidades influenciadas por esta posição.

O PSO funciona com um aprendizado ao longo das iterações, ou seja, para se achar uma otimização de uma função deve-se deixar o PSO rodar uma certa quantidade de iterações, a quantidade de iterações varia entre cada problema, o melhor jeito de determinar é analisando a convergência do algoritmo. Ao fim da sua execução, o PSO terá uma partícula com o melhor fitness da população, esta partícula é a solução aproximada para a função alvo.

```

I) Para cada partícula
   Inicialize partícula
II) Faça:
   a) Para cada partícula:
      1) Calcular valor de fitness
      2) Se o valor de fitness é melhor do que o melhor valor de fitness (pBest) do histórico
      3) Valor atual será novo pBest.
   Fim
   b) Para cada partícula:
      1) Ache na vizinhança da população a partícula com melhor valor de fitness
      2) Calcule a velocidade da partícula
      3) Aplique condições de velocidade
      4) Atualize a posição da partícula de acordo com equação de posição
      5) Aplique condições de posicionamento
   Fim
   Enquanto máximo de iterações ou mínimo critério de erro não for atingido.
  
```

Fig 2. Pseudo-Código do PSO.

4. PSO em Redes Ópticas

O problema de atribuição de redes ópticas também pode ser tratado como um problema de permutações em uma lista de prioridade. Em geral os algoritmos para a solução do problema de WA tem como resultado uma lista que vai conter a ordem em que os comprimentos de onda devem ser usados, ou seja, o número de elementos da lista é o mesmo da quantidade de comprimentos de onda da fibra.

Com isso o uso do PSO para o problema de WA se resume a encontrar uma lista que obtenha o melhor desempenho em uma determinada rede. Algumas mudanças têm de ser feitas no algoritmo tradicional do PSO, enquanto no PSO tradicional a velocidade representa uma distância do espaço de busca que a partícula vai percorrer, no PSO para redes ópticas a velocidade representa uma probabilidade de que ocorra uma permutação naquela posição, caso haja a permutação a partícula permutará seus valores de acordo com a melhor partícula da vizinhança. Para isso, é feita uma normalização no vetor velocidade, e de acordo com as probabilidades vão ocorrendo as permutações em cada posição da lista da partícula.

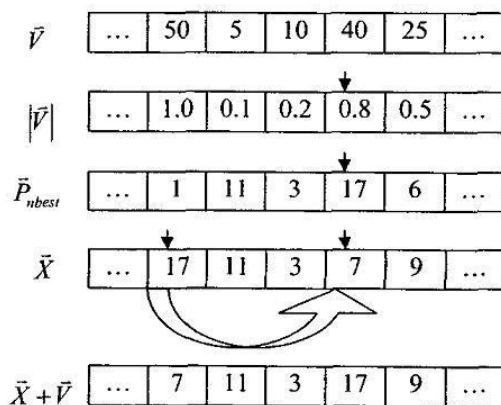


Fig 3. Ilustração do processo de atualização da posição da partícula.

Como as partículas tendem a seguir a melhor na sua vizinhança podem ocorrer de duas partículas se tornarem idênticas e permanecerem eternamente na mesma posição, para tratar desse problema é introduzido um fator de mutação, para caso ocorra de haver duas partículas iguais uma delas escolhe randomicamente duas posições da lista e faz uma permutação entre elas.

O PSO rodará em uma simulação offline para uma dada topologia de rede, e ao fim da simulação terá uma partícula que contém uma lista de ordem para a utilização dos comprimentos de onda, que apresentará os melhores

resultados. Para cada rede em que se deseja usar o PSO no problema de WA deve ser feita outra simulação, pois em cada simulação o algoritmo procura por soluções para aquela rede em particular, podendo a solução de uma rede não obter resultados bons em outras.

5. Metodologia

Os experimentos realizados para análise dos operadores e parâmetros do algoritmo foram estruturados de maneira que para uma dada topologia da rede e uma configuração do algoritmo a simulação é executada repetidas vezes, para verificar a consistência do algoritmo. As simulações foram feitas na plataforma SIMTON [4], onde o código foi implementado em C++.

As variáveis analisadas no projeto são, a probabilidade de bloqueio nas chamadas da rede e os parâmetros do algoritmo, como o tamanho da população do PSO, tamanho da vizinhança, quantidades de iterações do processo, e outros ajustes possíveis.

Para as simulações foram utilizados dois cenários, ambos na topologia de rede NSFNet e rodando em torno de 10000 cálculos da função objetivo, no primeiro cenário foram utilizadas populações de 12 indivíduos e no segundo cenário populações de 21 indivíduos. Abaixo segue a figura da topologia de rede e dos parâmetros utilizados nas simulações.

6. Resultados

As tabelas a seguir mostram os resultados obtidos nos dois cenários estudados, a escolha dessa quantidade de indivíduos para cada simulação se deu a partir do estudo do artigo *Swarm intelligence for permutation optimization: a case study of n-queens problem* [2], onde é usado uma população com 10 indivíduos, assim o primeiro cenário foi feito com 12 indivíduos e o segundo com 21 para avaliar a possível influência dessa diferença.

Tabela 1. Resultados obtidos nas simulações em cenário com 12 indivíduos.

Nº de Indivíduos	Número de vezes que a função Objetivo foi calculada	Probabilidade de Bloqueio
12	10236	0,145125
12	8364	0,127675
12	10488	0,1393
12	10452	0,15045
12	10488	0,1712

A topologia de rede usada foi a NSFNet e os resultados obtidos mostram que o PSO pode vir a ser uma alternativa atrativa para a solução do problema de WA desde que feitas algumas alterações necessárias.

As figuras 4 e 5 mostram a curva de convergência da probabilidade de bloqueio da rede em função do número de iterações para 12 e 21 indivíduos, respectivamente.

Tabela 2. Resultados obtidos nas simulações em cenário com 21 indivíduos

Nº de Indivíduos	Número de vezes que a função Objetivo foi calculada	Probabilidade de Bloqueio
21	10458	0,145875
21	10458	0,151325
21	10437	0,131225
21	10479	0,1273

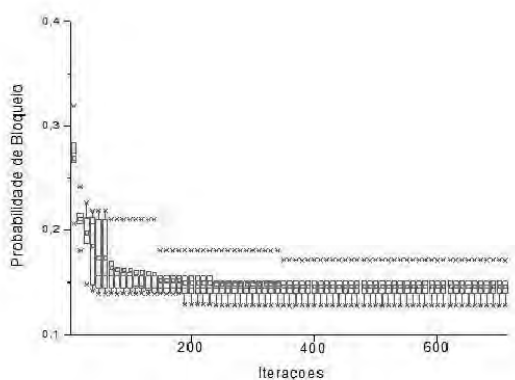


Fig 5. Convergência da Probabilidade de Bloqueio da Rede para 12 indivíduos.

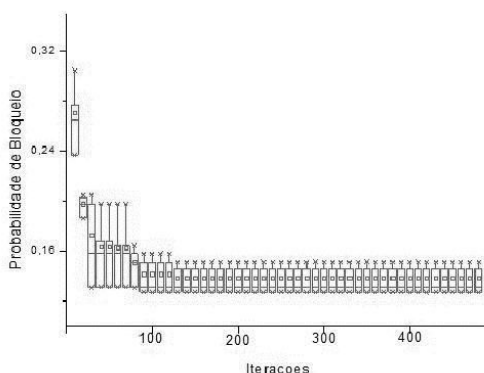


Fig 6. Convergência da Probabilidade de Bloqueio da Rede para 21 indivíduos.

7. Conclusões

O propósito deste artigo era demonstrar que o uso de PSO pode ser uma alternativa viável para a resolução do problema de WA, embora no momento atual existam métricas que possuam melhores resultados que o PSO, já fica provado que com um pouco mais de estudos e adaptações o PSO pode alcançar melhores resultados, visto que em outros problemas que tratam de permutações em listas ela já obtém bons resultados, como no problema das n-Rainhas.

O tamanho da população não pareceu afetar profundamente os resultados obtidos, entretanto sendo necessários maiores estudos para tal confirmação. Devido à rápida convergência do algoritmo os resultados obtidos não foram muito satisfatórios, mas comprovam que o PSO com algumas alterações pode ser usado para resolver problemas de permutação em listas.

Referências

- [1] B. Mukherjee, "WDM Optical Communication Networks: Progress and Challenges," IEEE JSAC, vol. 18, no. 10, Oct. 2000, pp. 1810–24.
- [2] H Xiaohui, RC Eberhart, S Yuhui "Swarm Intelligence for Permutation Optimization: A Case Study of n-Queens Problem", IEEE Swarm Intelligence Symposium 2003.
- [3] H. Zang, J. Jue, and B. Mukherjee, "A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength Routed Optical WDM Networks", Optical Networks Magazine, January 2000.
- [4] D. A. R. Chaves, C. J. A. Bastos-Filho, J. F. Martins-Filho, "Ferramenta Computacional para Simulação de Redes Ópticas Transparentes". In: MOMAG 2008, 2008, Florianopolis. 13º SBMO Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica e o 8º CBMag Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo - Momag 2008, 2008. v. 1. p. 908-913.
- [5] D. Bisbal et al, "Dynamic Routing and Wavelength Assignment in Optical Networks by Means of Genetic Algorithms", Photonic Network Communications, 2004, vol. 7, n. 1, pp. 43-58.
- [6] D. A. R. Chaves, D. O. Aguiar, C. J. A. Bastos-Filho, J. F. Martins-Filho, "Novel Adaptive Routing Algorithm for All-Optical Networks Based on

Power Series and Particle Swarm Optimization”. In: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC), 2008, Rio de Janeiro. Anais do 26º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, 2008.

- [7] N. M. Bhide, K. M. Sivalingam, T. Fabry-Asztalos, “Routing mechanisms employing adaptive weight functions for shortest path routing in multi-wavelength optical WDM networks”, Photon. Netw. Commun. 3, 227-236, 2001.

Códigos Corretores de Erros Baseados nas Transformadas Trigonométricas de Corpo Finito

E. W. Almeida

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

F. Nery,

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

J. B. Lima

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

D. C. Cunha

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

Neste trabalho, códigos de bloco lineares construídos a partir de transformadas trigonométricas de corpo finito são examinados. A ideia básica consiste em interpretar o cálculo de uma transformada como um produto entre um vetor e uma matriz de transformação específica. Os autovetores da referida matriz são, então, tomados como as palavras do código a ser construído. Os parâmetros do código têm relação com o comprimento da transformada e com as multiplicidades dos *autovalores da respectiva matriz*.

Palavras-Chave: *Códigos de bloco lineares, transformadas trigonométricas de corpo finito, autovalores, autovetores.*

1 Introdução

As transformadas de corpo finito têm desempenhado um importante papel em diversos cenários de aplicação. Em processamento digital de sinais, essas transformadas são utilizadas, por exemplo, no cálculo rápido de convoluções, por permitirem implementações com baixo custo computacional e dispensarem arredondamentos [1], [2], [3], [4]; no contexto de códigos corretores de erros, transformadas de corpo finito são usadas para descrição de códigos no domínio da frequência [5].

A transformada de corpo finito mais conhecida é a de Fourier (FFFT, *finite field Fourier transform*), introduzida em 1972 e redefinida em diversos trabalhos posteriores. Além da FFFT, transformadas como a de wavelet e a de Hartley de corpo finito foram definidas. Suas aplicações incluem criptografia, codificação convolucional e sequências para espalhamento espectral [6], [7], [8].

Mais recentemente, foi introduzida a família das transformadas trigonométricas de corpo finito (FFTT, *finite field trigonometric transforms*), que inclui oito transformadas do cosseno (FFCT, *finite field cosine transform*) e oito do seno (FFST, *finite field sine transform*), classificadas conforme critérios de simetria específicos utilizados em sua construção [9], [10]. São exemplos de aplicações dessas transformadas a filtragem e a ocultação de informação em imagens digitais, o projeto de esquemas de comunicação multiusuário e a formatação de distribuições de probabilidade sobre os inteiros [11], [12], [13], [14].

Em [15], foram propostos códigos de bloco lineares construídos a partir da transformada do cosseno de corpo finito do tipo 4 par (FFCT-4e). Alguns dos códigos obtidos apresentaram máxima distância mínima, o que estimulou a investigação, no presente trabalho, de códigos com comprimentos maiores, que são mais interessantes do ponto de vista prático, e de códigos construídos a partir de outros tipos de FFTT. Os tópicos estudados são organizados da seguinte forma: na Seção II, são apresentadas as autoestruturas das matrizes de transformação de alguns tipos de FFTT e descritos os passos necessários à construção de um código de bloco baseado nessas transformadas; na Seção III, são apresentados exemplos e resultados de simulações preliminares realizadas ao longo do período de iniciação científica; na Seção IV, são discutidas as principais conclusões deste trabalho e as perspectivas para trabalhos futuros.

2 Códigos Corretores de Erros Baseados na FFTT

2.1 Autoestrutura das FFTT

De forma geral, o cálculo de uma transformada trigonométrica de corpo finito de um vetor $x = (x_i)$, $i = 0, \dots, N-1$, com componentes em $GF(p)$, $p \equiv 3 \pmod{4}$, pode ser escrito como

$$X_k = \sum_{i=0}^{N-1} x_i M_{i,k}. \quad (1)$$

O vetor $X = (X_k)$, $k = 0, \dots, N-1$, que corresponde à transformada de x , sob determinadas condições, também possui componentes apenas em $GF(p)$; $M = (M_{i,k})$, $i, k = 0, \dots, N-1$, corresponde ao núcleo da transformada, que é definido em termos de cossenos ou senos de corpo finito, conforme o tipo de transformada sendo implementado. A Equação (1) equivale à equação matricial

$$X = x \cdot M, \quad (2)$$

em que M é a matriz de transformação da FFTT.

Em trabalhos anteriores, a autoestrutura (autovalores e autovetores) das matrizes de transformação das FFTT foram investigados [10], [13]. Tais estudos foram estimulados, particularmente, por investigações semelhantes, realizadas com matrizes de transformadas discretas como a de Fourier (DFT, *discrete Fourier transform*) e a do cosseno (DCT, *discrete cosine transform*), e que propiciaram a definição de transformadas discretas fracionais e a concepção de esquemas de comunicação multiusuário [16], [17], [18], [19]. Neste trabalho, são consideradas as autoestruturas da FFCT-1e e da FFCT-4e. As matrizes dessas transformadas possuem apenas dois autovalores distintos, $\{1, -1\}$, cujas multiplicidades são apresentadas na Tabela I; seus autovetores podem ser construídos por meio de procedimentos sistemáticos.

TABELA I
MULTIPLICIDADES DOS AUTOVALORES DA FFCT-1e E DA FFCT-4e.

N	Mult. de 1	Mult. de -1
ímpar	$\frac{N+1}{2}$	$\frac{N-1}{2}$
par	$\frac{N}{2}$	$\frac{N}{2}$

2.2 Construção de Código nas FFTT

Um vetor x é dito ser um autovetor, com autovalor associado λ , de uma FFTT específica, quando satisfaz $X = \lambda x$. Considerando esta condição e utilizando a Equação (2), pode-se realizar o desenvolvimento

$$\begin{aligned} M \cdot x &= \lambda x \\ (M - \lambda I) \cdot x &= 0, \end{aligned}$$

em que I é uma matriz identidade com dimensões iguais às de M . Como resultado, a matriz $(M - \lambda I)$ desempenha um papel semelhante ao da matriz de verificação de paridade de um código de bloco linear com comprimento $n = N$ e dimensão k , em que $n - k = \text{posto}(M - \lambda I)$; a dimensão do código k é a multiplicidade do autovalor associado λ , já que essa é a dimensão do subespaço gerado pelos autovetores associados a esse autovalor [15], [20].

Diferentes matrizes de transformação M são obtidas conforme o número primo $p \equiv 3 \pmod{4}$ escolhido, o comprimento N e outros critérios que precisam ser observados [10]. Para cada matriz M , relacionada a um dos tipos de FFTT considerados neste trabalho, é possível construir dois códigos, selecionando o autovalor $\lambda = 1$ ou $\lambda = -1$. O escalonamento da matriz $(M - \lambda I)$ produz a matriz de verificação de paridade na forma sistemática $H = [In - k | P]$ e, consequentemente, permite a obtenção da matriz geradora do código $G = [-PT | Ik]$.

3 Exemplos e Resultados de Simulações

A construção dos códigos descritos na Seção II foi realizada em duas etapas. Na primeira delas, utilizou-se o Matlab para (i) obter matrizes de transformação da FFCT-1e e da FFCT-4e; (ii) gerar as respectivas matrizes na forma $(M - \lambda I)$; e (iii) realizar um escalonamento e obter as matrizes H e G na forma sistemática. A seguir, são apresentados dois exemplos de códigos obtidos ao final desta primeira etapa.

Exemplo 1: Neste exemplo, considera-se um código construído a partir de uma FFCT-1e, com $N = 9$ e $\lambda = 1$ ($k = 5$), em GF(31). As matrizes de verificação de paridade e geradora obtidas são, respectivamente,

$$H^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 23 & 17 & 28 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 17 & 16 & 12 & 4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 4 & 3 & 19 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 19 & 17 & 8 & 12 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 1 & 25 & 16 \end{pmatrix}$$

e

$$G^{(1)} = \begin{pmatrix} 16 & 14 & 27 & 12 & 29 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 15 & 28 & 14 & 30 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 14 & 19 & 12 & 23 & 6 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 27 & 30 & 19 & 15 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Exemplo 2: Neste exemplo, considera-se um código construído a partir de uma FFCT-4e, com $N = 5$ e $\lambda = -1$ ($k = 2$), em GF(79). As matrizes de verificação de paridade geradora obtidas são, respectivamente

$$H^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 38 & 34 & 33 \\ 0 & 1 & 59 & 33 & 32 \end{pmatrix}$$

e

$$G^{(1)} = \begin{pmatrix} 41 & 20 & 1 & 0 & 0 \\ 45 & 46 & 0 & 1 & 0 \\ 46 & 47 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Na segunda etapa, elaborou-se um programa, utilizando a linguagem Java, para determinar a distância mínima de alguns dos códigos construídos. Os resultados podem ser observados na Tabela II. Nesta tabela, além do comprimento do código ($n = N$), do número primo e do tipo de transformada utilizados, são apresentadas as distâncias mínimas obtidas pelo uso dos autovalores $\lambda = 1$ e $\lambda = -1$, denotadas respectivamente por $d(1)$ e $d(-1)$.

Para as FFCT-4e, a tabela contém alguns valores atualizados, em comparação com aqueles apresentados em [15]. Observa-se que, para essa transformada, obtêm-se códigos de máxima distância mínima, isto é, que satisfazem $d = n - k + 1$, para valores de $n \leq 7$. Essa característica é importante no que diz respeito à capacidade de correção de erros do código e representa um dos requisitos para que um código seja MDS (*maximum distance separable*). Considerando os códigos construídos a partir da FFCT-1e, que não haviam sido analisados em trabalhos anteriores, obtêm-se máxima distância mínima para valores de $n \leq 6$.

É importante reafirmar que os resultados expostos foram obtidos unicamente a partir de simulações. Realizando o procedimento descrito na Seção II, é possível construir códigos com comprimentos maiores e que, talvez, apresentem máxima distância mínima. Entretanto, até o momento, a Tabela II não pode ser expandida em função da ausência

de um método analítico para determinar a distância mínima dos códigos das FFTT e da intensa carga computacional envolvida em simulações para valores de N grandes.

4 Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste artigo, foram investigados, pelo uso de simulações computacionais, códigos de bloco lineares não-binários, baseados em alguns tipos de transformadas trigonométricas de corpo finito. Códigos construídos a partir da FFCT-4e foram revisitados e códigos baseados na FFCT-1e foram estudados. Os resultados obtidos impulsionam a continuidade dos estudos, para obtenção dos parâmetros de códigos com comprimentos maiores; também motivam a investigação de códigos relacionados a outras transformadas, como as FFTT do seno e aquelas baseadas em extensões simétricas ímpares, e as transformadas fracionais de corpo finito [10], [12], [21].

Como perspectiva de trabalhos futuros, deve-se estudar algoritmos de decodificação existentes que possam ser aplicados aos códigos construídos e avaliar a possibilidade de conceber algoritmos particularmente voltados à decodificação de códigos de transformadas. A construção de novas transformadas a partir de códigos de bloco existentes, como o de

relação entre os códigos corretores de erros e as transformadas, de modo que vantagens oferecidas por um desses dois campos de estudo possam ser aproveitadas pelo outro.

Referências

- [1] D. F. Elliott and K. R. Rao, *Fast Transforms - Algorithms, Analyses and Applications*, Academic Press, 1982.
- [2] S. Gudvangen and H. Buskerud, "Practical applications of number theoretic transforms," in *Norwegian Signal Processing Symposium, NOR-SIG'99*, 1999.
- [3] H. Alameddine, E. H. Baghious, G. Madre, and G. Burel, "Realization of block robust adaptive filters using generalized sliding Fermat number transform," in *14th European Signal Processing Conference, EUSIPCO'2006*, 2006.
- [4] T. Toivonen and J. Heikkilä, "Video filtering with Fermat number theoretic transforms using residue number system," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 16, no. 1, pp. 92–101, January 2006.
- [5] R. E. Blahut, *Theory and Practice of Error Control Codes*, Addison-Wesley, 1985.
- [6] K. S. Chan and F. Fekri, "A block cipher cryptosystem using wavelet transforms over finite fields," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 52, no. 10, pp. 2975–2991, October 2004.
- [7] F. Fekri, M. W. Sarti, R. M. Mersereau, and R. W. Schafer, "Convolutional codes using finite-field wavelets: Time-varying codes and more," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 53, no. 5, pp. 1881–1896, Maio 2005.
- [8] H. M. de Oliveira and R. M. Campello de Souza, "Orthogonal multilevel spreading sequence design," in *Coding, Communications and Broadcasting*, P. G. Farnell, M. Darnell, and B. Honary, Eds., pp. 291–303. Research Studies Press, John Wiley, Hertfordshire, 1st edition, 2000.
- [9] M. M. C. de Souza, H. M. de Oliveira, R. M. Campello de Souza, and M. M. Vasconcelos, "The discrete cosine transform over prime finite fields," in *International Conference on Telecommunications*, J. N. de Souza, P. Dini, and P. Lorenz, Eds., Berlin, 2004, Lecture Notes in Computer Science, pp. 482–487, Springer.
- [10] J. B. Lima, *Trigonometria sobre Corpos Finitos: Novas Definições e Cenários de aplicação*, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Setembro 2008.
- [11] R. J. S. Cintra, V. S. Dimitrov, H. M. de Oliveira, and R. M. Campello de Souza, "Fragile watermark-

TABELA II
PARÂMETROS DE ALGUNS CÓDIGOS BASEADOS NAS FFTT.

N	p	FFCT	$d^{(1)}$	$d^{(-1)}$
3	7	1e	2	3
3	47	4e	2	3
4	23	1e	3	3
4	31	4e	3	3
5	7	1e	3	2
5	79	4e	3	4
6	79	1e	4	4
6	47	4e	4	4
7	23	1e	2	4
7	167	4e	4	5
8	127	4e	4	4
9	31	1e	4	3
9	71	4e	3	5
10	79	4e	5	5
13	23	1e	4	5

Hamming e o de Golay, também deve ser investigada. Neste sentido, pode-se contribuir para o esclarecimento da

- king using finite field trigonometrical transforms,” *Signal Processing: Image Communication*, Elsevier, 2009.
- [12] J. B. Lima and R. M. Campello de Souza, “New trigonometric transforms over prime finite fields for image filtering,” in *Proceedings of the VI International Telecommunications Symposium, ITS’06*, 2006.
 - [13] J. B. Lima, R. M. Campello de Souza, and D. Parnario, “Blind sequence separation based on the eigenstructure of finite field transforms,” in *Anais do XXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, SBrT’08*, 2008.
 - [14] J. B. Lima, R. M. Campello de Souza, and H. M. de Oliveira, “Formatação de distribuições de probabilidade sobre os inteiros,” in *Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, SBrT’07*, 2007.
 - [15] E. S. V. Freire, R. M. Campello de Souza, and J. B. Lima, “Códigos corretores de erros baseados na transformada do cosseno de corpos finitos,” in *Anais do XXVII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, SBrT’09*, 2009.
 - [16] J. H. McClellan and T. W. Parks, “Eigenvalue and eigenvector decomposition of the discrete Fourier transform,” *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, vol. AU-20, no. 1, pp. 66–74, January 1972.
 - [17] C. Candan, M. Alper Kutay, and H. M. Ozaktas, “The discrete fractional Fourier transform,” *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 48, no. 5, pp. 1329–1337, May 2000.
 - [18] S.-C. Pei and M. H. Yeh, “The discrete fractional cosine and sine transforms,” *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 49, no. 6, pp. 1198–1207, June 2001.
 - [19] R. M. Campello de Souza and H. M. de Oliveira, “Eigensequences for multiuser communication over the real adder channel,” in *Proceedings of the VI International Telecommunications Symposium, ITS’06*, 2006.
 - [20] J. H. McClellan and T. W. Parks, “Eigenvalue and eigenvector decomposition of the discrete fourier transform,” *IEEE Trans. on Audio and Electroacoustics*, vol. AU-20, no. 1, pp. 66–74, March 1972.
 - [21] J. B. Lima and R. M. Campello de Souza, “The finite field fractional Fourier transform,” in *2010 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2010, pp. 3670–3673.

Estudo sobre decodificação iterativa usando códigos de treliça

Souza, I. M. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
igor.poli@yahoo.com.br

Alcoforado, M. L. M. G.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
mariadelourdesalcoforado@yahoo.com.br

Resumo *Este artigo mostra a implementação do algoritmo BCJR para utilização em códigos de bloco lineares, com e sem o uso da decodificação iterativa. São feitas simulações computacionais, e geradas curvas de desempenho, relacionando valores das probabilidades de erro com os de relação sinal-ruído.*

Abstract *This paper shows the implementation of the BCJR algorithm for linear block codes using iterative decoding or not. The simulation results are made and the curves obtained, relating bit error probability values and signal-to-noise ratio.*

1 Introdução

Um dos grandes desafios da Engenharia de Telecomunicações e recuperar informações que num processo de transmissão ou armazenamento tenham sofrido algum tipo de alteração. Existe a necessidade de garantir a integridade dos dados enviados através de algum tipo de canal, e para tanto, todo sistema de transmissão digital precisa de algum tipo de técnica de correção de erros.

Os sistemas de comunicação representados pelo modelo clássico[1] consideram que há apenas um remetente querendo se comunicar, através de um canal ruidoso, com apenas um destinatário. A Figura 1.1 ilustra o modelo de comunicação clássico, no qual são indicados apenas a fonte de informação, o codificador de canal, o canal digital, o decodificador de canal e o destino. Neste artigo, a fonte de informação utilizada e sem memória, e emite símbolos binários e equiprováveis. As mensagens devem ser enviadas a um destino através de canal contaminado com ruído aditivo gaussiano branco (RAGB).[2]

O objetivo deste artigo é o estudo, a avaliação e a implementação de sistemas codificados para simulação em presença de ruído aditivo gaussiano branco. Na seção 2, é apresentada uma técnica de geração da treliça para códigos de bloco lineares a partir da matriz de verificação de paridade. A seção 3 versa o tratamento matemático necessário para decodificação de códigos de bloco usando o algoritmo de decodificação de Bahl et al BCJR[3]. A seção 4 traz a decodificação iterativa para uso em códigos de bloco lineares. A seção 5 ilustra os resultados das simulações através de curvas de desempenho geradas e finalmente na seção 6 a conclusão e comentários finais.

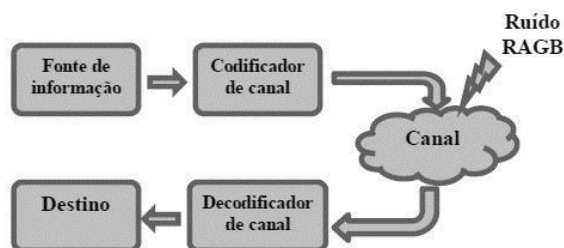


Figura 1.1 – Sistema de Comunicação ponto a ponto.

2 Treliça para códigos de blocos lineares

Seja C um código de bloco linear binário com parâmetros (n,k) , isto é os vetores correspondentes as mensagens

são denotados por $\vec{u} = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$ as correspondentes palavras código por $\vec{v} = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$. A treliça correspondente para o código de bloco C é definida a partir da matriz de verificação de paridade. Seja H a matriz de verificação de paridade do código de bloco linear $C(n,k)$ e $\vec{h}_i, i = 1, 2, \dots, n$ os vetores coluna da matriz H . Os estados da treliça podem ser definidos como $S_i, i = 0, 1, \dots, n$, em que:

$$\begin{aligned} S_0 &= \vec{0}, \\ S_i &= S_{i-1} + v_i \vec{h}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (2.1)$$

O estado atual S_i é sempre função do estado anterior S_{i-1} , bem como do bit v_i . A partir de (2.1) é possível encontrar a treliça correspondente ao código de bloco.

Conforme ilustrado no exemplo 2.1

Exemplo 2.1: A treliça encontrada a partir da matriz verificação de paridade H :

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

representando o código de Hamming[4] $C(7,4)$, esta ilustrada na Figura 2.1. Onde cada estado possível é mostrado na base decimal. Por exemplo: O estado (001) está representado como 1.

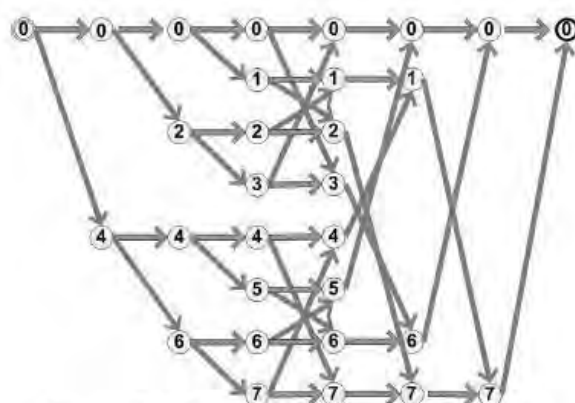


Figura 2.1. Treliça obtida a partir da matriz de verificação de paridade do código $C(7,4)$.

3 Algoritmo BCJR

O algoritmo proposto por Bahl et al (BCJR) pode ser aplicado a qualquer código que tenha uma treliça associada[4].

Seja $\vec{v} = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$, a entrada para um canal RAGB. A sequência de saída do canal é denotada por $\vec{r} = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$. A variável aleatória r_i , $i = 1, \dots, n$ é definida como $r_i = (1 - 2v_i) + q_i$, onde q_i representa amostras de ruídos independentes com variância σ^2 e média 0 (zero). O algoritmo BCJR calcula a razão de log-verossimilhança,

$\Lambda(v_i)$, associada a cada símbolo de palavra-código, v_i como mostrado na equação (3.1).

Em que $P\{v_i = 1 | \vec{r}\}$ e $P\{v_i = 0 | \vec{r}\}$ é a probabilidade a posteriori dos bits que compõe a palavra-código $\vec{v}$.

$$\Lambda(v_i) = \ln \frac{P\{v_i = 1 | \vec{r}\}}{P\{v_i = 0 | \vec{r}\}} \quad (3.1)$$

Após artifícios matemáticos e S_i e o conjunto de estados do instante i da treliça, (3.1) pode ser reescrita como:

$$\Lambda(v_i) = \ln \frac{\sum_{m \in S_i} \sum_{m' \in S_{i-1}} \gamma_i(r_i) \alpha_{i-1}(m') \beta_i(m)}{\sum_{m \in S_i} \sum_{m' \in S_{i-1}} \gamma_{-i}(r_i) \alpha_{i-1}(m') \beta_i(m)} \quad (3.2)$$

em que $\alpha_i(m)$, $i = 0, 1, \dots, n$, pode ser calculado de maneira recursiva por meio de:

$$\alpha_i(m) = \sum_j \sum_{m' \in S_{i-1}} \alpha_{i-1}(m') \gamma_j(r_i)$$

As condições de contorno para $\beta_i(m)$ são:

$$\beta_n(m) = \begin{cases} 1, m = 0 \\ 0, m \neq 0. \end{cases}$$

Considerando β_j^i como conjunto das transições de estado de m' para m , as probabilidades de transição de canal contaminado com ruído aditivo gaussiano branco e das probabilidades de transição da treliça do codificador:

$$\gamma_j(r_i) = \begin{cases} P_i(j) e^{-\frac{(r_i - j)^2}{2\sigma^2}}; & m', m \in B_i^j \\ 0, & \text{outros} \end{cases} \quad (3.7)$$

em que $P_i(j)$ representa a probabilidade a priori $P\{v_i = j\}$ A igualdade (3.2) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\Lambda(v_i) = \ln \frac{\sum_{m \in S_i} \sum_{m' \in S_{i-1}} P_i(1) e^{-\frac{(r_i - 1)^2}{2\sigma^2}} \alpha_{i-1}(m') \beta_i(m)}{\sum_{m \in S_i} \sum_{m' \in S_{i-1}} P_i(0) e^{-\frac{(r_i - 0)^2}{2\sigma^2}} \alpha_{i-1}(m') \beta_i(m)} \quad (3.8)$$

O algoritmo BCJR, portanto segue da seguinte forma:

- Cálculo de valores $\gamma_i(r_i)$;
- Calcular recursivamente $\alpha_i(m)$ e $\beta_i(m)$
- Cálculo dos $\Lambda(v_i)$

4 Decodificação iterativa

4.1 O codificador

Para que possa ser efetuada a decodificação iterativa é necessário que o codificador para o código *C tenha a estrutura bidimensional[5] ilustrada na Figura 4.1. O código de bloco *C é formado tal que cada palavracódigo seja um arranjo de n_1 colunas e n_2 linhas onde cada linha é uma palavra código em C^- , código de bloco sistemático com parâmetros (n_1, k_1) , e cada coluna é uma palavra código em C^+ , código de bloco sistemático com parâmetros (n_2, k_2) . Na figura 4.1 P^- e P^+ representam os bits da paridade de C^- e C^+ , respectivamente. Os $k_1 k_2$ os símbolos binários localizados na quina superior esquerda são símbolos de informação. Os $(n_1 - n_2)/k_2$ símbolos binários localizados na quina superior direita são calculados a partir das regras de paridade de C^- e os $(n_2 - n_1)/k_1$ símbolos binários localizados na quina inferior esquerda são calculados a partir de regras de paridade de C^+ .

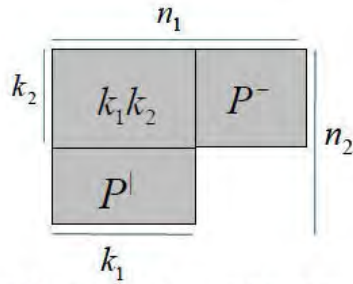


Figura 4.1. Estrutura de um código bidimensional C^* com $C^-(n_1, k_1)$ e $C^l(n_2, k_2)$ como códigos componentes.

4.2 O decodificador turbo

O decodificador turbo utiliza o princípio da decodificação iterativa [2] e consiste de dois componentes, DEC1 e DEC2, concatenados em série. DEC1 é responsável pela decodificação das k_2 linhas ou seja, o código componente C^- , e DEC2, das k_1 colunas, isto é, o código componente C^l . Esse esquema é ilustrado na figura 4.2. Supõe-se que os dois decodificadores usam o algoritmo BCJR.

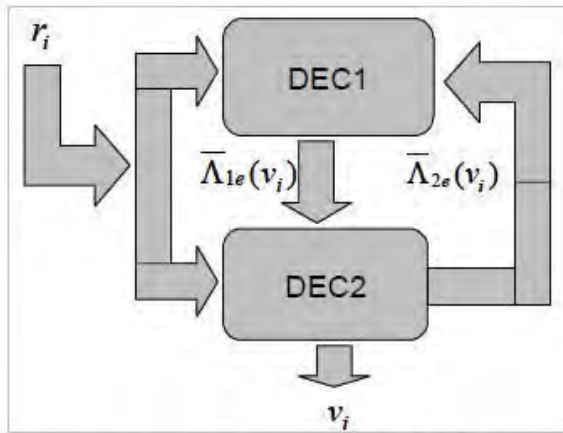


Figura 4.2. Esquema da decodificação iterativa.

Reescrevendo a equação (3.8), para calcular a razão de Log-Verossimilhança de DEC1 tem-se:

$$\Lambda_1(v_i) = \ln \frac{P_i^1(1)}{P_i^1(0)} + \frac{2v_i}{\sigma^2} + \Lambda_{1e}(v_i), \quad (4.1)$$

sendo que:

$$\Lambda_{1e}(v_i) = \ln \frac{\sum_{m \in S_i} \sum_{m' \in S_{i-1}} \alpha_{i-1}(m') \beta_i(m)}{\sum_{m \in S_i} \sum_{m' \in S_{i-1}} \alpha_{i-1}(m') \beta_i(m)} \quad (4.2)$$

e o expoente “1” em $P_i^1(1)$ e $P_i^1(0)$ representa as probabilidades $P_i(1)$ e $P_i(0)$ correspondentes a DEC1.

Para primeira iteração $\ln \frac{P_i^1(1)}{P_i^1(0)\{v_i=0\}} = 0$, já que os símbolos emitidos pela fonte de informação são equiprováveis.

A sequência recebida por DEC2 está correlacionada com a saída suave do primeiro decodificador $\Lambda_1(v_i)$. Portanto, a contribuição devida a r_i deve ser retirada de $\Lambda_1(v_i)$ para eliminar essa correlação. Como $\Lambda_{1e}(v_i)$ não depende r_i esse termo pode ser usado como probabilidade a priori para decodificação do segundo estágio.

$$\Lambda_{1e}(v_i) = \ln \frac{P_i^2(1)}{P_i^2(0)}. \quad (4.3)$$

O expoente “2” em $P_i^2(1)$ e $P_i^2(0)$ representa as probabilidades $P_i(1)$ e $P_i(0)$ correspondentes a DEC2.

Utilizando (4.3) e a igualdade $P_i^2(1) = 1 - P_i^2(0)$, as probabilidades a priori de DEC2 podem ser escritas da seguinte forma:

$$P_i^2(1) = \frac{\exp(\Lambda_{1e}(v_i))}{1 + \exp(\Lambda_{1e}(v_i))},$$

$$P_i^2(0) = \frac{1}{1 + \exp(\Lambda_{1e}(v_i))}.$$

$$\text{Logo: } \ln \frac{P_i^2\{v_i=1\}}{P_i^2\{v_i=0\}} = \ln e^{(\Lambda_{1e}(v_i))} = \Lambda_{1e}(v_i).$$

Então:

$$\Lambda_2(v_i) = \Lambda_{1e}(v_i) + \frac{2v_i}{\sigma^2} + \Lambda_{2e}(v_i). \quad (4.5)$$

Para as demais iterações, a probabilidade a priori de DEC1 será atualizada com uma equação análoga a (4.5). Logo temos:

$$\Lambda_1(v_i) = \Lambda_{2e}(v_i) + \frac{2v_i}{\sigma^2} + \Lambda_{1e}(v_i)$$

5 Resultados das Simulações

Foram considerados para efeito de simulações computacionais a decodificação utilizando o algoritmo BCJR

para os casos utilizando os códigos de Hamming $C(15,11)$, $C(31,26)$ e $C(63,57)$ conforme ilustrado na figura 5.1.

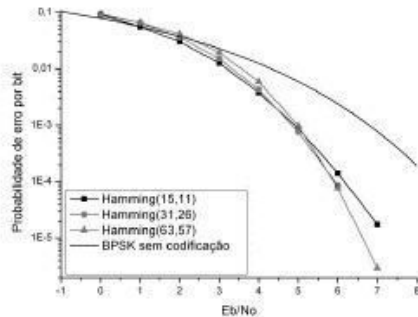


Figura 5.1. Desempenho do BCJR na decodificação de alguns códigos de Hamming.

Para decodificação iterativa foram realizadas duas simulações com 4 iterações cada. Para compor C^* , na primeira simulação, foram utilizados dois códigos de Hamming $C^I = C^- = C(15,11)$. Os resultados obtidos nessa simulação podem ser vistos na figura 5.2.

Já para outra simulação, foram utilizados dois códigos de Hamming $C^I = C^- = C(31,26)$ para compor C^* . Também foram realizadas 4 iterações e o desempenho dessa decodificação pode ser observado na figura 5.3.

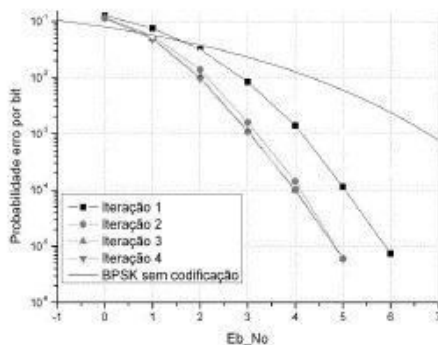


Figura 5.2. Desempenho da decodificação iterativa com $C^- = C^I = C(15,11)$.

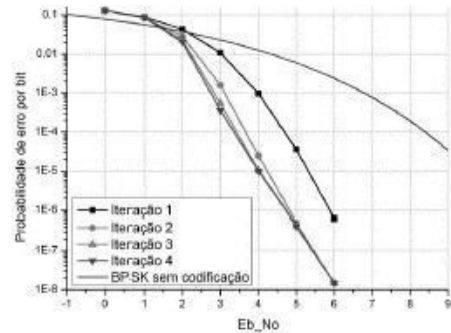


Figura 5.3. Desempenho da decodificação iterativa com $C^- = C^I = C(31,26)$.

6 Conclusões

Como esperado, e possível notar um ganho de aproximadamente 2,5dB para probabilidade de erro por bit de 10^{-3} , quando compara-se o sistema codificado com o sistema sem codificação.

As curvas obtidas para decodificação iterativa, figura 5.2 e figura 5.3, mostram uma melhora de desempenho a cada nova iteração. A partir da terceira iteração a probabilidade de erro por bit passa a não melhorar significativamente. É possível perceber um ganho de aproximadamente 1dB para probabilidade de erro por bit de 10^{-4} quando comparadas as curvas relacionadas a primeira e segunda iteração, em ambos os casos.

Referências

- [1] SHANNON, C.E. A Mathematical Theory of Communication. Bell Syst. Tec. Jour., v. 27, July 1948, pp.379-423, 623-656.
- [2] ALCOFORADO, M. L. M. G. Codificação Iterativa para o Canal Aditivo com Dois Usuários Binários. Recife, Brasil, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)- Departamento de Eletrônica e Sistemas, UFPE.
- [3] BAHL, L. R.; COCKE, J.; JELINEK, F.; RAVIV, J. Optimal Decoding of Linear Codes for Minimizing Symbol Error Rate. IEEE Trans. Inform. Theory, v. IT-20, March 1974, pp.284-287.
- [4] LIN, S.; COSTELLO JR., D. Error Control Coding: Fundamentals and Applications, Prentice-Hall Inc., 2004.

- [5] HAGENAUER, J. Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes. IEEE Trans. Inform. Theory, v. 42, No 2, March 1996, pp.429-445.

Otimização do Processo de Roteamento e Atribuição de Comprimento de Onda em Redes Ópticas Translúcidas Utilizando Conceitos de Computação Inteligente

Lima, V. S.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
verusca.telecom@gmail.com

Pereira, H. A.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
helder.pereira@poli.br

Resumo

O serviço de roteamento se faz necessário nas redes de comunicações devido à existência de várias rotas possíveis entre os nós. Isso implica na necessidade de tomada de decisão sobre qual dos caminhos deve ser utilizado para cada mensagem a ser encaminhada. Com o avanço das redes ópticas, algoritmos de roteamento baseados somente em parâmetros como, por exemplo, número de saltos entre origem e destino, não são a melhor alternativa para estabelecer caminhos ópticos. Diante desse cenário, pesquisadores vêm aplicando técnicas de inteligência computacional no processo de roteamento, para que seja possível considerar diversas características da rede como, por exemplo, ruídos, ocupação, de forma mais eficiente que os algoritmos utilizados atualmente e, assim, os níveis de qualidade de serviço desejados possam ser garantidos

Abstract

The routing service is needed in networks communications due to the existence of several possible routes between nodes. This implies the need for decision making about which roads should be used for each message being forwarded. With advances in optical networks, routing algorithms based only on parameters, eg number of hops between origin and destination, are not the best way to establish optical paths. Given this scenario, researchers have been applying computational intelligence techniques in the process of routing, so you can consider various network characteristics, eg, noise, occupation, more efficient than the algorithms currently used, and thus levels of service quality desired can be secured.

1 Introdução

Diante do cenário atual das telecomunicações, existe uma forte tendência para utilização das comunicações ópticas. A maior parte das informações de longa distância, seja tráfego de redes de computadores (internet), seja dos serviços de telefonia, passa pelos grandes enlaces de telecomunicações de alta capacidade usados para interligar países e continentes (backbones ópticos) [1].

As fibras ópticas, que são estruturas finas e flexíveis constituídas de vidro ou plástico, permitem propagar o sinal de informação utilizando ondas de luz por longas distâncias [2]. Atualmente, sistemas de comunicações ópticas compõem a tecnologia que podem prover a maior banda de transmissão entre os sistemas de transmissão conhecidos atualmente. Por esse e vários outros fatores, a comunidade científica investe muita atenção nesta área, pois os sistemas de comunicações ópticas ainda possuem um grande potencial para novas descobertas e desenvolvimento. Os principais desafios nessas redes consistem em garantir a qualidade do sinal durante o processo de transmissão e utilizar algoritmos de roteamento e atribuição de comprimentos de onda (RWA-Routing and Wavelength Assignment) de modo a minimizar o percentual de chamadas bloqueadas devido à falta de comprimentos de onda disponíveis ou degradação da relação sinal-ruído óptico [3].

2 Redes Ópticas

Graficamente uma rede óptica é representada por um grafo onde os nós representam os usuários que necessitam se comunicar e os enlaces representam as ligações entre estes nós [4]. A figura 1 mostra essa exemplificação.

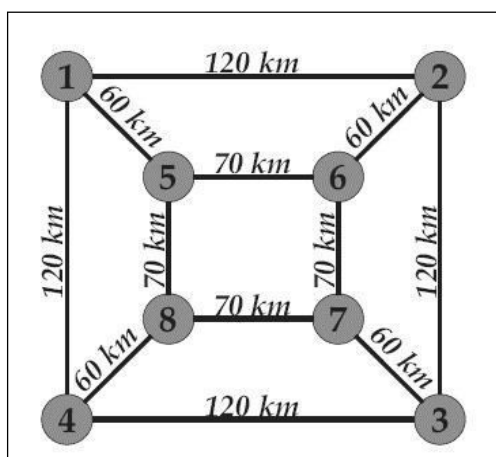


Fig. 1. Representação gráfica da topologia de uma rede óptica.

As redes ópticas têm como meio de transmissão as fibras ópticas. A fibra óptica por sua vez, corresponde ao meio onde a potência luminosa, injetada pelo emissor de luz (transmissor), é guiada e transmitida até o fotodetector (receptor). Formada por um núcleo e por uma casca, ambos de material dielétrico, porém com índice de refração ligeiramente inferior ao do núcleo, a fibra permite a propagação da luz por reflexões sucessivas. Essa estrutura básica da fibra é envolvida por encapsulamentos plásticos de proteção mecânica e ambiental, formando o cabo óptico que pode conter uma ou mais fibras [2].

Quanto ao tipo, as redes ópticas podem ser definidas em três categorias: opacas, totalmente ópticas e translúcidas. As opacas são redes que utilizam a camada óptica apenas para transmissão. Dispõem de dispositivos eletrônicos que são capazes de realizar conversão eletro-óptica. Esses dispositivos são responsáveis por toda comutação e funções de gerenciamento. Uma das desvantagens desse tipo de rede é o alto custo para instalação, pois com o uso da tecnologia de multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM - *Wavelength Division Multiplexing Optical Networks*), que permite que vários comprimentos de onda, cada um carregando uma informação diferente, trafeguem numa mesma fibra simultaneamente, faz-se necessário para cada comprimento de onda um dispositivo conversor [4]. As totalmente ópticas ou ainda transparentes, são redes em que os dados são levados da origem até seu destino no domínio óptico, sem sofrer conversão eletro-óptica em nenhum nó da rede. Isso é possível graças aos dispositivos ópticos, que trabalham com os sinais no domínio óptico sem a necessidade de conversão do sinal. Essas redes apresentam restrições relacionadas às degradações do sinal óptico na camada física, uma vez que os dispositivos ópticos não são ideais e sem a presença de regeneradores ao longo do enlace é possível a degradação da comunicação devido ao acúmulo de penalidades geradas na camada física [4]. As translúcidas correspondem a um híbrido entre as opacas e as transparentes. São redes que apresentam dispositivos ópticos na sua camada física e apresentam regeneradores em alguns nós da rede [3].

3 Algoritmos de roteamento e atribuição de comprimento de onda

Em uma rede óptica, uma conexão é estabelecida através de um caminho óptico. Caminhos ópticos são conexões ópticas que vão de um nó origem a um nó destino utilizando um comprimento de onda nos enlaces que ligam esses nós [5].

A cada solicitação de conexão é necessário a escolha de uma rota e a alocação de um comprimento de onda na camada física. Esse processo de rotear e alocar comprimentos de onda é conhecido como problema de RWA.

As redes ópticas WDM utilizam uma arquitetura baseada em caminhos ópticos para aproveitar a grande largura de faixa disponível para transmissão de dados. Nessa arquitetura o roteamento e a alocação de comprimentos de onda são efetuados procurando otimizar o uso dos recursos da rede, diminuindo o bloqueio das chamadas e o custo de implementação. O desempenho de uma rede WDM pode ser afetado por problemas no roteamento e alocação de comprimento de onda. Na tentativa de diminuir o impacto no desempenho da rede é preciso a existência de algoritmos de roteamento eficientes, garantindo assim uma baixa probabilidade de bloqueio. Técnicas baseadas em inteligência artificial e computação inteligente vêm sendo propostas na literatura. Essas técnicas visam desenvolver algoritmos de RWA eficientes [6].

4 Roteamento por Série de Potências-PSR

O roteamento por séries de potências (PSR - *Power Series Routing*) é uma ferramenta importante para o projeto de algoritmos de roteamento. Em [7] é proposta uma forma sistemática de se construir uma função de custo adaptativa para um enlace em uma rede. Baseia-se em um conjunto de parâmetros de rede determinados por um especialista. Ele está baseado na expansão de uma função de custo em uma série de potência.

Para a construção do PSR, inicialmente é feita a escolha das variáveis da função de custo do enlace. Um especialista em rede define quais parâmetros de rede devem ser levados em consideração na função de custo. Após a determinação desses parâmetros, a função de custo é expandida em uma série. Por fim, é feita a determinação dos coeficientes da série, esses coeficientes são encontrados pela técnica de otimização por enxame de partículas (PSO - *Particle Swarm Optimization*) [7].

Em [7], a expansão da função de custo foi feita por uma série de funções multivariáveis que faz uso de um conjunto de polinômios ortogonais, da seguinte forma:

$$f(x_0, x_1, \dots, x_k) = \sum_{n_0=0}^{\infty} \sum_{n_1=0}^{\infty} \dots \sum_{n_k=0}^{\infty} b_{n_0, n_1, \dots, n_k} \prod_{j=0}^k x_j^{n_j} \quad (1)$$

Foram escolhidos como parâmetros de entrada, para a função de custo, a disponibilidade e o comprimento. Os valores foram normalizados para que todos os parâmetros estivessem na mesma escala, e assim as relevâncias dos parâmetros na função de custo fossem balanceadas de forma mais precisa. A razão de escolha desses parâmetros é que os mesmos têm alta correlação com o ruído acumulado ao longo do caminho óptico. Feita a escolha dos parâmetros de entrada, a função de custo é expandida a partir da seguinte equação:

$$f(x_{i,j}, y_{i,j}) = \sum_{n_0=0}^{\infty} \sum_{n_1=0}^{\infty} b_{n_0, n_1} x_{i,j}^{n_0} y_{i,j}^{n_1} \quad (2)$$

onde:

$$x_{i,j} = \frac{\lambda_{i,j}^a}{\lambda_{i,j}^T} \quad (3)$$

representa o parâmetro disponibilidade de enlace normalizado. O numerador e o denominador da equação (3) correspondem respectivamente ao número de comprimentos de onda não ativos e o número total de comprimentos de onda no enlace entre os nós i e j , e

$$y_{i,j} = \frac{d_{i,j}}{d_{\max}} \quad (4)$$

representa o parâmetro comprimento de enlace normalizado. O numerador e o denominador da equação (4) correspondem respectivamente ao comprimento de enlace entre os nós i e j e o máximo comprimento de enlace na rede. A série é truncada para se obter uma aproximação com os N termos:

$$f(x_{i,j}, y_{i,j}) = \sum_{n_0=0}^N \sum_{n_1=0}^N b_{n_0, n_1} x_{i,j}^{n_0} y_{i,j}^{n_1} \quad (5)$$

O PSR é finalizado com a utilização do PSO para obtenção dos coeficientes da série de potências que otimizam um parâmetro de desempenho de rede.

5 Otimização por enxames de partículas

O PSO foi proposto inicialmente por James Kennedy e Russel Eberhart durante uma pesquisa em que o objetivo inicial era simular o comportamento imprevisível de um bando de pássaros através de agentes inteligentes [8]. A técnica de otimização por enxame de partículas é inspirada na natureza e por isso é considerado por alguns como uma técnica de computação evolutiva. As técnicas de computação evolutiva são baseadas em mecanismos biológicos, que visam solucionar problemas de otimização combinatória - são problemas matemáticos complexos, onde a solução está associada a um alto custo computacional, implementados em computador [9]. A busca por alimento e a interação entre os pássaros ao longo do vôo são modelados como um mecanismo de otimização [8]. Ao observar o comportamento de um bando de pássaros, verifica-se que o comportamento do grupo é influenciado pela experiência individual acumulada por cada indivíduo bem como pelo resultado da experiência acumulada pelo grupo. No PSO, cada candidato à solução do problema corresponde a um ponto no espaço de busca. O sistema é inicializado com um conjunto de soluções aleatórias, cada potencial solução é associada a uma partícula que possui uma velocidade,

definida de forma aleatória, e se move em um espaço hiperdimensional em busca do melhor resultado possível [10]. As partículas movem-se no espaço de busca tendendo para uma combinação entre a melhor posição encontrada pela partícula (*pbest*) e a melhor posição encontrada pela vizinhança em que ela está inserida (*gbest*).

Uma partícula individual *i* é composta por três vetores, são eles:

Sua posição no espaço D-dimensional:

$$\vec{x}_i = (x_{i,1}, x_{i,2} \dots x_{i,D}) \quad (6)$$

A melhor posição encontrada por esta partícula:

$$\vec{p}_i = (p_{i,1}, p_{i,2} \dots p_{i,D}) \quad (7)$$

E sua velocidade:

$$\vec{v}_i = (v_{i,1}, v_{i,2} \dots v_{i,D}) \quad (8)$$

O deslocamento de cada partícula é representado pelo vetor resultante da composição de três forças representadas matematicamente em forma de vetor: inércia, memória e cooperação. O vetor inércia representa a força que impulsiona a partícula a seguir à direção a que tendia previamente. O vetor memória que representa o conhecimento da partícula, é responsável por fazer a partícula se direcionar aos lugares que se mostraram mais favoráveis ao problema em questão. O vetor cooperação representa a influência de um enxame em uma determinada partícula. Ele é responsável por direcionar a partícula para a melhor direção já conhecida pelo enxame [11]. As mudanças da posição das partículas durante a execução do processo são guiadas pela atualização da velocidade. As partículas voam pelo espaço de busca tendo suas velocidades atualizadas dinamicamente de acordo com o histórico das experiências individuais e coletiva de todo o enxame [12]. A cada iteração o algoritmo atualiza as posições e velocidades das partículas usando as seguintes equações:

$$\vec{v}_{i,d} = v_{i,d} + ce_1(p_{i,d} - x_{i,d}) + ce_2(p_{g,d} - x_{i,d}) \quad (9)$$

e

$$x_{i,d} = x_{i,d} + v_{i,d} \quad (10)$$

No algoritmo original, *c* é uma constante com o valor dois, *p_{g,d}* é a melhor posição encontrada pela melhor partícula no enxame e *e₁* e *e₂* são números aleatórios independentes com distribuição uniforme entre 0 e 1 gerados a

cada iteração para cada partícula e cada dimensão de 1 à D [10].

Com o objetivo de melhorar o desempenho e a eficiência do algoritmo de PSO, pesquisadores propuseram alterações na forma como é feita a atualização de velocidade das partículas [13]. Introduzindo um fator de inércia *w* (*inertial factor*) é possível obter um melhor balanço entre a busca global e local. A junção da equação da velocidade com o fator de inércia resulta na seguinte equação [13]:

$$v_{i,d} = wv_{i,d} + ce_1(p_{i,d} - x_{i,d}) + ce_2(p_{g,d} - x_{i,d}) \quad (11)$$

Outra melhoria proposta para ajudar na convergência foi a introdução do coeficiente de constrição (*constriction factor*) [14-15]. A adição do coeficiente de constrição *χ* à equação de atualização de velocidade das partículas foi proposta por Clerc e Kennedy [16]. O modelo de coeficiente de constrição propõe um novo método de escolha dos valores de *w*, *c₁* e *c₂* de forma que a convergência seja assegurada. Ele descreve que esses parâmetros passem a ser determinados analiticamente. A equação de atualização é apresentada da seguinte forma [14]:

$$v_{i,d} = \chi(v_{i,d} + ce_1(p_{i,d} - x_{i,d}) + ce_2(p_{g,d} - x_{i,d})) \quad (12)$$

Em [7], focou-se no algoritmo PSO com o fator de constrição.

A figura 2 ilustra o pseudocódigo do algoritmo que foi utilizado para implementação do PSO [7].

O enxame é inicializado com valores de velocidade e posição gerados aleatoriamente, a função *g()* calcula a força (*fitness*) de cada partícula do enxame, avaliando o desempenho de cada uma, *min_i(p_{vizinho})* retorna a posição *p_{vizinho}* da partícula vizinha mais apta que tem o maior *g()* dentre as duas possíveis. A quantidade de iterações que o algoritmo deve executar foi adotada como critério de parada [7].

Inicialize com uma população aleatória

Faça

Para $i = 1$ **até** Tamanho da população

Se $g(\bar{x}_i) < g(\bar{p}_i)$ **Então** $\bar{p}_i = \bar{x}_i$

$\bar{p}_g = \min(\bar{p}_{vizinho})$

Para $d = 1$ **até** Dimensão

$v_{i,d} = \chi(v_{i,d} + ce_1(p_{i,d} - x_{i,d}) + ce_2(p_{g,d} - x_{i,d}))$

$x_{i,d} = v_{i,d} + x_{i,d}$

Próximo d

Próximo i

Até critério de parada

Fig.2. Pseudocódigo do algoritmo PSO utilizado.

6 Proposta de Trabalho

A utilização de redes de computadores para estudo, trabalho e negócios vem crescendo de forma exponencial nos últimos anos. As aplicações modernas precisam de uma transmissão rápida e eficiente, com menor perda possível de informação. Assim, serviços de rede devem ter qualidade para que as pessoas possam executar suas atividades de forma segura e adequada [17]. A tecnologia WDM é uma técnica promissora para atender a essa demanda crescente de largura de banda da rede. Com os avanços em tecnologia de comutação óptica as redes translúcidas surgem como candidatas promissoras para os futuros *backbones* da *internet* [18].

Uma rede óptica é opaca quando cada sinal óptico sofre regeneração eletrônica em cada nó intermediário na rede. A maior desvantagem desse tipo de rede é o alto custo. Entretanto, uma vantagem das redes opacas é que elas previnem o acúmulo de penalidades ao longo do caminho óptico. Já uma rede é dita totalmente óptica quando não existe regeneração eletrônica durante seu percurso fim-a-fim. Essas redes ainda suportam diferentes taxas de bits e de modulação. O principal inconveniente desse tipo de rede é que a mesma apresenta limitações de distância, devido às degradações na transmissão introduzidas por não linearidades, ruído acumulado, dispersão, etc. Com as redes ópticas translúcidas é possível alcançar uma performance próxima as das redes opacas, porém com diminuição nos custos. Elas representam um meio termo entre redes opacas e redes totalmente ópticas [3] [18].

O roteamento das chamadas é um dos fatores que mais afetam o projeto das redes ópticas e sua operação [3]. O problema de RWA é crucial para atender ao desempenho e qualidade dos novos serviços. Técnicas baseadas em computação inteligente vêm sendo propostas na literatura [7]. Essas técnicas visam desenvolver algoritmos de RWA eficientes.

Esse trabalho propõe a adaptação de um algoritmo de roteamento e alocação de canais (RWA) para redes transparentes utilizando uma técnica de computação inteligente e aplicando-o para o cenário de redes ópticas translúcidas.

6.1 PSR-R uma solução inteligente para Redes Ópticas Translúcidas

O PSR foi proposto inicialmente e analisado em [7] para uma rede totalmente óptica. A idéia de utilizar o PSR em uma rede totalmente óptica é que o roteamento nesse tipo de rede deve levar em consideração as penalidades físicas. Uma vez não havendo regeneração ao longo dos caminhos ópticos o acúmulo dessas penalidades resulta em um grande prejuízo de transmissão. A utilização desses algoritmos de roteamento que levam em consideração o estado da camada física implica em maior complexidade computacional. A vantagem de utilizar o PSR é que o mesmo combina a simplicidade e a rapidez dos algoritmos de roteamento tradicionais com o alto desempenho conseguido pelos esquemas que levam em consideração as penalidades geradas na camada física [7].

O processo de construção do PSR inicia-se com a escolha dos parâmetros de entrada que devem ser levados em consideração na função custo. Para o PSR proposto para uma rede totalmente óptica em [7] foram escolhidos como variáveis de entrada os parâmetros disponibilidade e comprimento normalizado do enlace. O problema de roteamento em uma rede óptica translúcida também é referido como um problema de RWA [3]. Uma tarefa adicional do RWA utilizado nas redes translúcidas é que o mesmo também é responsável por utilizar regeneradores em alguns nós intermediários da rede. Diante desse cenário, o PSR-R surge como proposta para utilização no processo de roteamento de uma rede óptica translúcida. O PSR-R apresenta a mesma idéia do PSR utilizado em redes totalmente ópticas, a única diferença é que o PSR-R utiliza a mais, como variável de entrada, o parâmetro número de regeneradores no nó destino do enlace analisado, uma vez que a rede óptica translúcida é caracterizada pela presença de regeneradores em alguns nós estratégicos da rede.

6.2 PSR-R uma solução inteligente para Redes Ópticas Translúcidas

As figuras 3, 4 e 5 apresentam respectivamente os pseudocódigos do simulador da rede translúcida, da função REGENERADOR_QoS e da função REGENERADOR_LAMBDA.

A arquitetura da rede translúcida aborda dois tipos de demandas para a regeneração. O primeiro tipo de exigência que surge é a qualidade do sinal. Essa é a razão mais comum para a regeneração [18]. Quando um caminho óptico percorre vários trechos de fibra óptica e componentes,

a qualidade do seu sinal pode ser degradado. Cada componente em um nó intermediário pode apresentar perda de inserção. Os amplificadores de fibra óptica podem compensar alguma perda, mas ao mesmo tempo, introduzem ruído. Além disso, os comutadores geram interferência (*crosstalk*) entre os diferentes canais. Para superar essas deficiências, um caminho óptico pode recorrer à regeneração em um nó intermediário que apresenta essa função [18].

A contenção de comprimento de onda representa outro tipo de exigência para a regeneração. Ocorre quando a rota não disponibiliza um comprimento de onda fim-a-fim, ou seja, do nó fonte ao nó destino, e também quando dois caminhos ópticos, usando o mesmo comprimento de onda, são transmitidos na mesma fibra. Em uma rede WDM, a probabilidade de vários caminhos concorrerem para o mesmo comprimento de onda na mesma fibra pode ser bastante elevada causando uma quantidade significativa de bloqueio. Portanto, um regenerador torna-se uma alternativa viável para esse problema [18].

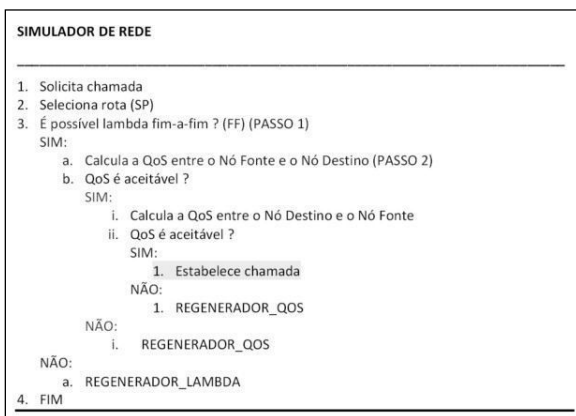


Fig. 3. Pseudocódigo do simulador de rede.

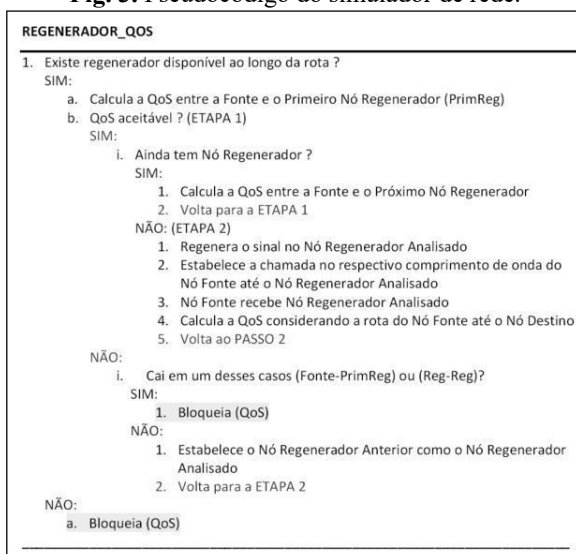


Fig.4. Função REGENERADOR_QoS.

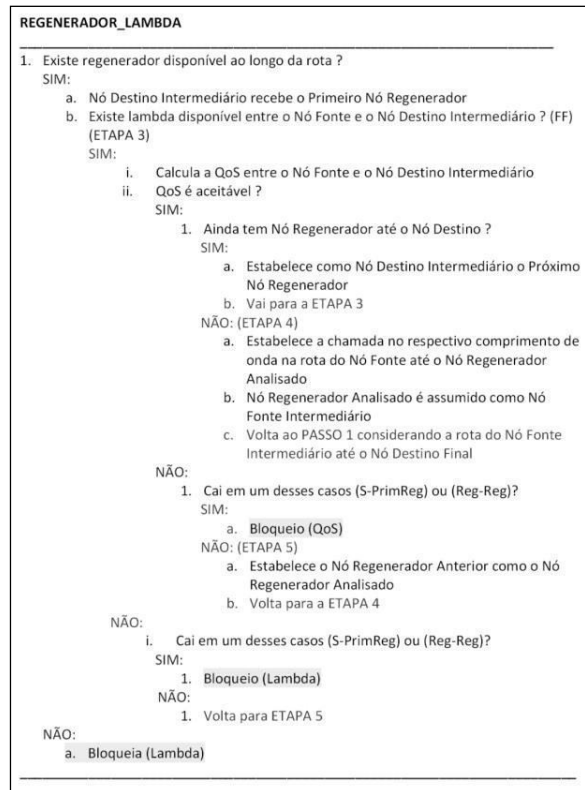


Fig.5. Função REGENERADOR_LAMBDA.

7 Resultados

O PSR-R foi proposto como uma solução para o roteamento em uma rede óptica translúcida. É aplicado para se construir a função custo adaptativa a ser utilizada nesse tipo de rede.

Com a escolha das variáveis de entrada da função custo, a mesma é expandida em uma série de potência. O PSR-R é descrito da seguinte forma:

$$f(x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}) = \sum_{n_0=0}^N \sum_{n_1=0}^N \sum_{n_2=0}^N b_{n_0, n_1, n_2} x_{i,j}^{n_0} y_{i,j}^{n_1} z_{i,j}^{n_2}, \quad (13)$$

onde:

$$z_{i,j} = \frac{z_{i,j}}{z_{\max}} \quad (14)$$

representa o parâmetro número de regeneradores. O numerador e o denominador da equação (14) correspondem respectivamente ao número de regeneradores no nó destino do enlace e o máximo número de regeneradores em um determinado nó da rede.

Finaliza-se o PSR-R com a determinação dos coeficientes da série utilizando o PSO, descrito na seção 5.

O procedimento de construção do PSR-R pode ser resumido de acordo com o esquema apresentado na figura 6.

ETAPA	DESCRIÇÃO	IMPLEMENTAÇÃO
Passo1	Escolha dos parâmetros de entrada para a função de roteamento	Parâmetros escolhidos: ocupação ($x_{i,j}$), comprimento ($y_{i,j}$) e número de regeneradores ($z_{i,j}$)
Passo2	Expansão da função custo em uma série	Série de potências: $f(x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}) = \sum_{m=0}^N \sum_{n1=0}^N \sum_{n2=0}^N b_{m,n1,n2} x_{i,j}^{n1} y_{i,j}^{n2} z_{i,j}^{n2}$
Passo3	Determinação dos coeficientes da série	Uso do PSO

Fig.6. Construção do PSR-R.

8 Conclusões

O PSR-R foi implementado na plataforma computacional em [7], estima-se que sejam obtidos resultados satisfatórios para redes ópticas translúcidas em termos de probabilidade de bloqueio de chamadas.

Referências

- [1] R. A. A. José, “Projeto de Sistemas de Comunicações ópticas”. Ed.: Manole, 1ª edição.
- [2] C. A. Bastos-Filho, “Sistemas de Comunicações Ópticas. Disponível em: <http://www.gta.ufjf.br/taquara/atividades/1.htm>, acesso em 10 outubro de 2009.
- [3] A. L. Souza-Filho, “Projeto de Redes Translúcidas de Longa Distância”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Universidade Estadual de Campinas. Campinas: 30 de junho de 2003.
- [4] D. A. R. Chaves, “Algoritmos Rápidos de IRWA para Redes Totalmente Ópticas”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Pernambuco. Recife: 28 de fevereiro 2008.
- [5] R. Ramaswami; K. N. Sivaraja, “Optical Networks (a practical perspective)”. Califórnia: Morgan Kauffmann Publishers Inc., 2002.
- [6] H. Zang; J. P. Jue; B. Mukherjee, “A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength-Routes Optical WDM Networks”. In.: Optical Networks Magazine. Vol. 1, nº1, pp. 47-60. Springer Netherlands, janeiro 2000.
- [7] D. A. R. Chaves; D. O. Aguiar; C. J. A. Bastos-Filho; J. F. Martins-Filho, “Impairment Aware Routing Algorithm for All-Optical Networks Based on Power Series and Particle Swarm Optimization”.
- [8] Kennedy; R. Eberhart, “Particle Swarm Optimization”. Inc Proc. Of the IEEE Int. Conf. on Neural Networks, pp. 1942-1948, Piscataway, NJ., 1995. IEEE Service Center.
- [9] M. Poltosi, “Programando Soluções para Problemas de Otimização Combinatória”. Congresso Simulado de Técnicas de Programação, São Leopoldo, 2006.
- [10] D. Bratton; J. Kennedy, “Defining a Standard for Particle Swarm Optimization”. Em: Swarm Intelligence Symposium, 2007 (SIS 2007) IEEE, pp. 120-127. Honolulu abril 2007.
- [11] V. Miranda, “Computação Evolucionária Fenotípica”. Porto, 2005.
- [12] Y. Shi, “Particle Swarm Optimization”. Em: Proceedings of the IEEE Neural Network Society. pp. 8-13, 2004.
- [13] D. Corne; M. Dorigo; F. Glover, “New Ideas in Optimization”, PP. 379-387. McGraw Hill, 1999.
- [14] R. C. Eberhart; Y. Shi, “Comparing Inertia Weights and Constriction Factors in Particle Swarm Optimization”. Em: Proceedings of the Congress on Evolutionary Computing, San Diego, USA, pp. 84-89, 2000.
- [15] Y. Shi; R. C. Eberhart, “A Modified Particle Swarm Optimizer”. Em: IEEE International Conference of Evolutionary Computation, Anchorage, Alaska, maio 1998.
- [16] M. Clerc; J. Kennedy, “The Particle Swarm (explosion, stability and convergence in a multidimensional complex space)”. Em: IEEE Transactions on Evolutionary Computation. Vol. 6, nº 1, pp. 58-73, fev. 2002.
- [17] G. Torres, “Redes de Computadores Curso Completo”. Ed. Axcel Books. Ed.: Axcel Books. Ano 2001.
- [18] X. Yang, B. Ramamurthy, “Sparse Regeneration in Translucent Wavelength-Routed Optical Networks:

Architecture, Network Design and Wavelength Routing”. p.p. 39-53, março 2005

Estudo teórico das propriedades óticas não lineares de nanopartículas metálicas

Filho, J. B. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
joaomonteirof@gmail.com

Malagón, L. A. G.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
lagomezma@poli.br

Resumo *Foram estudadas as propriedades óticas não lineares de materiais contendo nanopartículas de prata e de ouro utilizando alguns modelos recentes. Fator de campo local e susceptibilidade de terceira ordem foram calculados em relação ao tamanho das nanopartículas e em relação às características do laser incidente como intensidade e comprimento de onda. Os resultados obtidos descrevem o comportamento experimental reportado na literatura.*

Abstract *The nonlinear optical properties of nanosized silver and gold materials were studied by the use of some recent mathematical models. Local field factor and third order susceptibility were calculated in order to verify their relation with incident laser's characteristics like it's intensity and wavelength. The obtained results describe the experimental behavior reported in the literature.*

1 Introdução

A ótica não linear é o ramo da ótica que estuda a resposta de materiais a excitações luminosas intensas. Essa resposta é função do meio excitado através de propriedades como a susceptibilidade, por exemplo. O cálculo das propriedades óticas não lineares de materiais contendo nanopartículas metálicas tem sido um problema bastante atacado, com resultados interessantes. Esse trabalho baseia-se em modelos recentes e dados para cálculo e comparação dos resultados de propriedades óticas não lineares de materiais contendo nanopartículas metálicas de prata e de ouro fazendo uso de ferramentas computacionais de análise de dados como o Origin e o ambiente multifuncional do Matlab com o objetivo da validação, incluindo algumas correções, dos modelos utilizados.

2 Modelo Matemático

Assume-se um composto de topologia onde as partículas que, por simplificação, serão consideradas esféricas, estão distribuídas aleatoriamente num meio hospedeiro. Sendo a o raio da nanopartícula, b a distância característica e λ o comprimento de onda da luz incidente, vale o modelo de Maxwell-Garnett se vale a condição $a \ll b \ll \lambda$ e se a fração de volume, p , do metal em relação ao hospedeiro for muito pequena. O modelo de Maxwell-Garnett é um EMA (Effective Medium Approximation), um tipo de modelo que tenta prever as propriedades de um sistema a partir das propriedades de seus constituintes. De acordo com esse modelo, vale a equação:

$$\frac{\epsilon - \epsilon_h}{\epsilon + 2\epsilon_h} = p \frac{\epsilon_m - \epsilon_h}{\epsilon_m + 2\epsilon_h} \quad (1)$$

em que ϵ , ϵ_h e ϵ_m são as constantes dielétricas do material, do meio hospedeiro e do metal constituinte das nanopartículas, respectivamente.

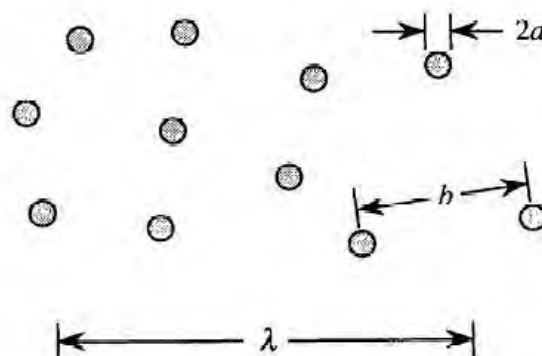


Fig 1. Topologia assumida para as soluções estudadas.

Existe uma relação entre a parte imaginária da constante dielétrica e o coeficiente de absorção. A relação pode ser escrita assim:

$$\alpha = \frac{18\pi p}{\lambda} \epsilon_h^{3/2} \frac{\epsilon_m''}{(\epsilon_m' + 2\epsilon_h)^2 + \epsilon_m''^2} \quad (2)$$

Assumindo que apenas as nanopartículas apresentam efeitos não lineares, podemos assim obter a expressão para o cálculo de $\chi^{(3)}$:

$$\chi_{eff}^{(3)} = p f^2 |f|^2 \chi_m^{(3)} \quad (3)$$

O modelo do gás de elétrons degenerado é um modelo recente que foi desenvolvido tomando como situação de análise um elétron num poço esférico de potencial infinito com raio R . Este modelo tem como ponto de inovação o fato de considerar o Hamiltoniano da interação entre o elétron e o campo eletromagnético numa forma diferente. Modelos antigos utilizavam o Hamiltoniano na forma:

$$\hat{V} = -\frac{e}{mc} \hat{p} \cdot A + \frac{e^2}{2mc^2} A^2 \quad (4)$$

onde p é o momentum do elétron e A é o vetor potencial.

O modelo citado escreve-o na forma:

$$\hat{V} = -\hat{d} \cdot E \quad (5)$$

onde E é o campo elétrico atuante.

Ficou provado na ref. [2] que as formas só são equivalentes para excitações na frequência de ressonância. O último modelo citado é útil para o cálculo de $\chi^{(3)}$ das nanopartículas metálicas, através da equação:

$$\chi_m^{(3)} = \frac{2}{15} \left(\frac{e^2 n}{m \omega^2} \right) \left(\frac{2 \pi e a}{\hbar \omega} \right)^2 \frac{\Gamma_2}{\Gamma_1} \left\{ F_3 - i \left[\frac{2 \Gamma_2}{\omega} F_3 + \left(\frac{\omega}{2 \Gamma_2} \right)^2 \left(\frac{v_f}{a \omega} \right)^5 g_3 \right] \right\} \quad (6)$$

onde ω é a frequência angular da excitação; Γ_1 e Γ_2 representam as taxas de relaxação populacional e de coesão, respectivamente, e foram parâmetros de ajuste no desenvolvimento do trabalho; F_3 e g_3 são algumas das constantes que foram calculadas através do ajuste da constante dielétrica aos dados experimentais.

O objetivo principal do trabalho foi o cálculo da susceptibilidade de terceira ordem para materiais contendo nanopartículas de ouro.

Para o cálculo dessa propriedade, houve a necessidade de encontrar o valor de algumas outras.

Podemos utilizar a Equação (3) para o cálculo da susceptibilidade, mas para isso precisamos conhecer o valor do fator de campo local, e da susceptibilidade dos metais envolvidos.

O fator de campo local é dado por, de acordo com a ref.[10]:

$$f = \frac{3 \varepsilon_h}{\varepsilon_m + 2 \varepsilon_h} \quad (7)$$

Para a prata, a constante dielétrica pode ser escrita (incluindo correções de intensidade e de tamanho da nanopartícula) na forma:

$$\varepsilon_m = \varepsilon_{bulk} + i g_1 \left(\frac{4 \pi e^2 n}{m \omega^2} \right) \frac{v_f}{a \omega} + 12 \pi \chi_m^{(3)} |f|^2 I_0 \quad (8)$$

onde g_1 é uma das constantes determinadas pelo ajuste da constante dielétrica; ε_{bulk} é a constante dielétrica para uma "porção extensa" do material e v_f é a velocidade de Fermi.

Utilizando as Equações (7) e (8), podemos chegar a:

$$A |f(\omega)|^6 + B |f(\omega)|^4 + C |f(\omega)|^2 + D = 0 \quad (9)$$

onde:

$$\begin{aligned} A &= c^2 + d^2 \\ B &= 2(ac + bd) \\ C &= a^2 + b^2 \\ D &= -9 \varepsilon_h^2 \end{aligned}$$

e

$$\begin{aligned} a &= Re(\varepsilon_m^0) + 2 \varepsilon_h \\ b &= Im(\varepsilon_m^0) \\ c &= I_0 12 \pi Re(\chi_m^{(3)}) \\ d &= I_0 12 \pi Im(\chi_m^{(3)}) \end{aligned}$$

A equação (9) pode ser resolvida numericamente. Com os resultados em mãos, calculasse a susceptibilidade de terceira ordem para o material.

Para o ouro, a expressão utilizada para a constante dielétrica foi:

$$\varepsilon_m = 1 - \frac{\omega_{pf}^2}{\omega^2 + i \frac{\omega}{\tau_f}} + \frac{\omega_{pb}^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - i \frac{\omega}{\tau_b}} \quad (10)$$

onde ω_{pf} , ω_{pb} e ω_0 são frequências características das correções efetuadas para se chegar à expressão (10). As constantes τ_f e τ_b são análogas a Γ_1 e Γ_2 . Todas essas constantes foram obtidas por ajuste da expressão (10) a dados experimentais da ref. [3].

3 Tratamento Numérico

Os cálculos iniciais tinham o objetivo da determinação de algumas constantes que seriam utilizadas durante o restante do trabalho. Para a prata, foi utilizada a Equação (8), excluindo os efeitos de intensidade, para ajuste a dados experimentais da ref. [3], utilizando a ferramenta de ajuste do Origin. Para o ouro, foi feito o mesmo procedimento, mas foi utilizada para o ajuste a Equação (10).

Algumas equações complexas precisaram ser resolvidas. A Equação (9) consiste de um polinômio de sexta ordem no módulo do fator de campo local, onde os coeficientes são funções de características como o comprimento

de onda, a intensidade da luz incidente, o raio das nanopartículas etc. Para resolver esta equação, implementou-se um algoritmo que calcula os coeficientes para cada variação de uma das variáveis citadas, mantendo-se todas as outras constantes. Computam-se os resultados das raízes. O problema, a partir deste ponto, é que cada solução encontrada consistia em seis raízes do polinômio. Como a Equação (9) é uma equação polinomial no módulo do fator de campo local, só são válidas as raízes reais e positivas. Algoritmos de testes foram desenvolvidos para avaliar intervalos do domínio onde apenas uma das raízes seria real e positiva, evitando problemas de resultados múltiplos. Dessa forma, foi possível computar o módulo do fator de campo local em função do comprimento de onda, da intensidade incidente e do raio da nanopartícula.

Para o cálculo de $X_{eff}^{(3)}$, pode ser utilizada diretamente a Equação (3).

4 Resultados obtidos e discussão

Para as constantes envolvidas nas equações propostas, foram feitos ajustes com dados contidos na ref. [3]. Vêm-se nas figuras que seguem os ajustes feitos:

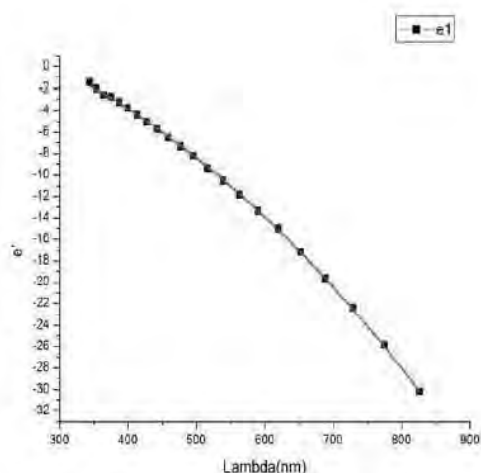


Fig 2. Parte real da constante dielétrica da prata em função do comprimento de onda.

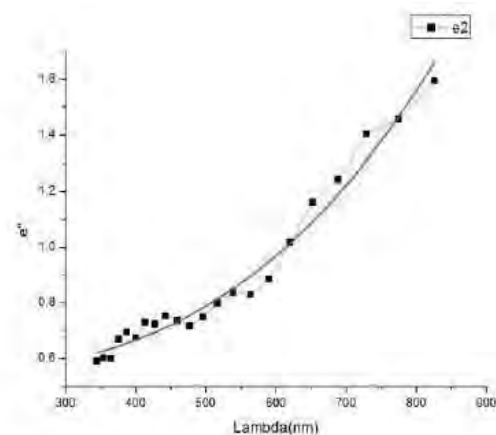


Fig 3. Parte imaginária da constante dielétrica da prata em função do comprimento de onda.

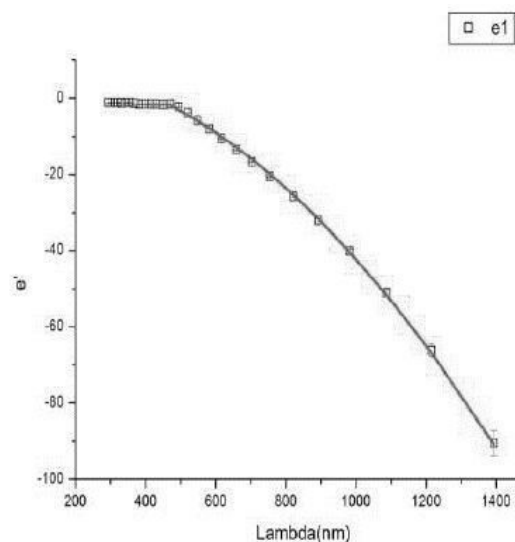


Fig 4. Parte real da constante dielétrica do ouro em função do comprimento de onda.

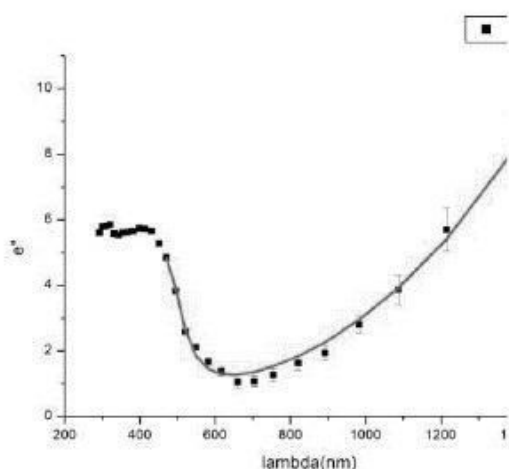


Fig 5. Parte imaginária da constante dielétrica do ouro em função do comprimento de onda.

Nas Figuras 1 e 2, foram ajustadas as partes real e imaginária da constante dielétrica da prata de acordo com a Equação (8), porém sem levar em consideração efeitos de intensidade incidente. A ferramenta de ajuste de curvas do Origin foi utilizada para o cálculo das constantes citadas. Nas Figuras 3 e 4, foi realizado o mesmo procedimento para o ouro, porém, de acordo com a Equação (10).

Para a prata temos:

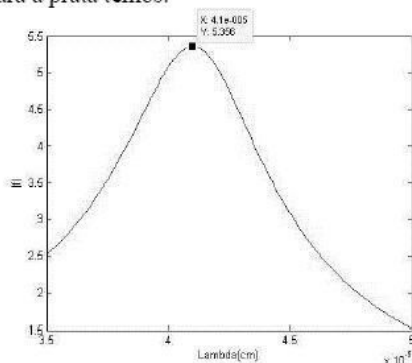


Fig 6. Módulo do fator de campo local em função do comprimento de onda.

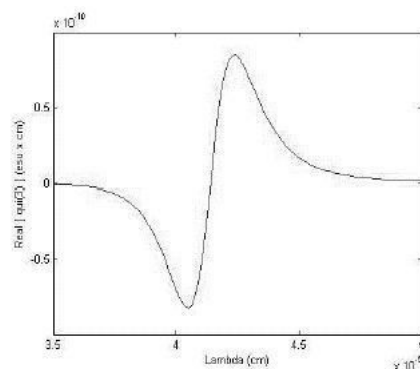


Fig 7. Parte real da susceptibilidade em função do comprimento de onda.

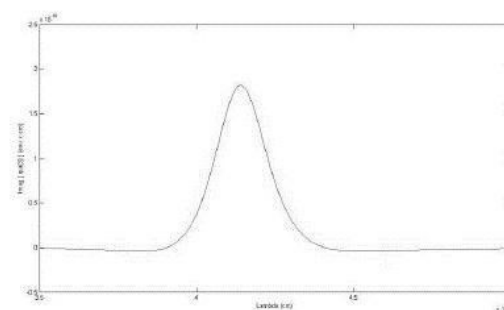


Fig 8. Parte imaginária da susceptibilidade em função do comprimento de onda.

As Figuras 5, 6 e 7 apresentam resultados para cálculos com intensidade de 1Mw/cm^2 e raio das nanopartículas igual a 3 nanômetros. Na Figura 5, podemos observar um pico. Como pode ser visto na ref. [1], para alguns valores do raio da nanopartícula e de intensidade incidente, para um mesmo comprimento de onda podem ser obtidos três valores do módulo do fator de campo local. Para evitar situações como essa, algoritmos de teste foram feitos e os resultados só foram calculados para situações de comportamento como o mostrado na Figura 5.

Para o ouro, temos:

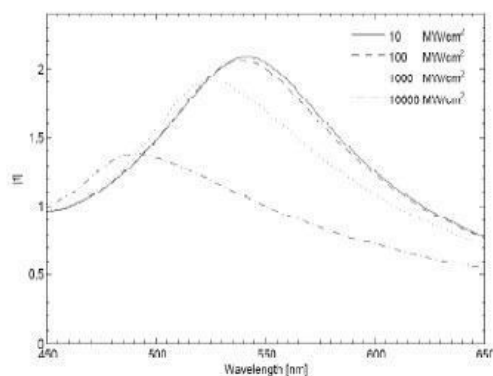


Fig 9. Módulo do fator de campo local em função do comprimento de onda.

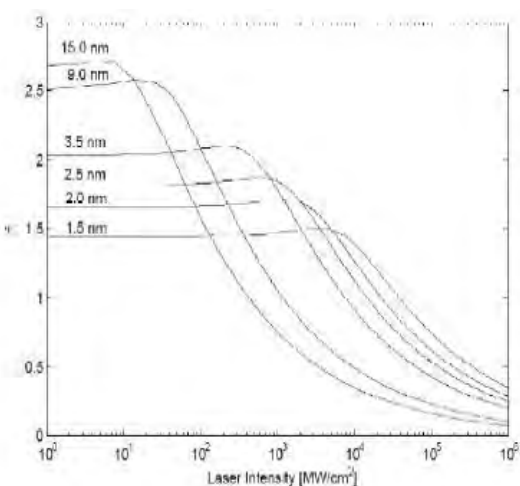


Fig 10. Módulo do fator de campo local em função da intensidade da luz incidente.

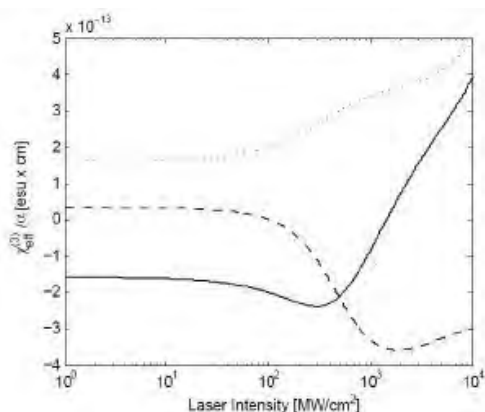


Fig 11. Partes real, imaginária e módulo da razão entre a susceptibilidade e o coeficiente de absorção para a mistura em função da intensidade incidente.

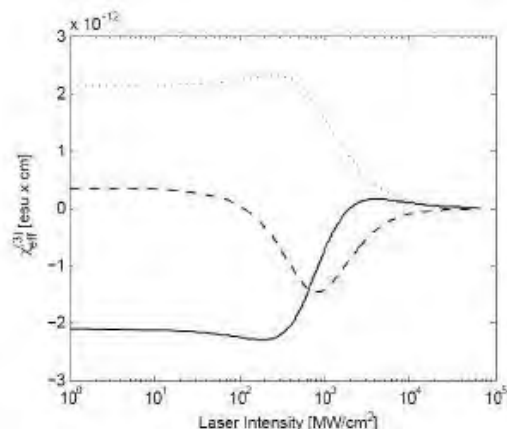


Fig 12. Partes real, imaginária e módulo da susceptibilidade para a mistura em função da intensidade incidente.

A figura 8 traz a relação entre o módulo do fator de campo local e o comprimento de onda. É importante destacar o deslocamento à esquerda do valor de pico da relação com o aumento da intensidade.

A Figura 9 mostra a relação entre o módulo do fator de campo local e a intensidade incidente para vários raios das nanopartículas. Vê-se claramente que a partir de certa intensidade a curva começa a decrescer e também que isso acontece mais “rapidamente” para partículas com raio maior. Para valores altos de intensidade começa a manifestar-se o efeito da saturação, que é a origem para efeitos de bi estabilidade, ou seja, possibilidade de mais de valor para o módulo do fator de campo local. Essa região não foi utilizada nos cálculos.

5 Conclusões

Pela coerência entre os resultados obtidos pelo trabalho em questão e os resultados expostos em 1, ficam validados os procedimentos de cálculo para solução das equações apresentadas para a prata. Para o ouro, os resultados obtidos foram os esperados de acordo com a análise inicial (análise para prata). Além disso, tiveram comportamento análogo ao que havia sido encontrado anteriormente, mesmo após as alterações realizadas no modelo (alteração no cálculo da constante dielétrica). Os fatos citados indicam uma diretriz eficaz na análise que, infelizmente, não fica comprovada por comparação com dados de experimentos, ficando a possibilidade de comparações para um trabalho posterior.

Referências

- [1] Vladimir P. Drachev, Andrei K. Buin, Heinz Narkotte, Vladimir M. Shalaev, "Size Dependent $\epsilon(\omega)$ for Conduction Electrons in Ag Nanoparticles", Nano letters, 2004;
- [2] S. G. Rautian, "Nonlinear saturation spectroscopy of the degenerate electron gas in spherical metallic particles", Zh. E ' ksp. Teor. Fiz., 1997;
- [3] P. B. Jonhson, R.W. Crhisty, "Optical constants of noble metals", Phys. Review Letters, 1972;
- [4] B. Karthikeyan, Jinto Thomas, Reji Philip, "Optical nonlinearity in glass-embedded silver nanoclusters under ultrafast laser excitation", Chemical Physics Letters, 2005;
- [5] J.E. Sipe, Robert W. Boyd, "Nonlinear susceptibility of composite optical materials in the Maxwell Garnett model", Physical review, 1992;
- [6] R. Ruppin, "Evaluation of extended Maxwell-Garnett theories", Optics Communications, 2000;
- [7] Robert W. Boyd, "Nonlinear Optics", Hardcover, 2008;
- [8] Vladimir P. Drachev, Uday K. Chettiar, Alexander V. Kildishev, Hsiao-Kuan Yuan, Wenshan Cai, and Vladimir M. Shalaev, "The Ag dielectric function in plasmonic metamaterials", Optical Society of America, 2004;
- [9] R. M. Eisberg, "Fundamentos da Física Moderna", Guanabara, 1979;
- [10] J. D. Jackson, "Eletrodinâmica Clássica", Guanabara, 1983;
- [11] J. B. Marion, "Classical Electromagnetic Radiation", Academic Press, 1965;
- [12] P. A. Tipler, "Física V.4", Guanabara, 1991;

Aplicação do Método dos Elementos Finitos na Eletrostática e Estimulação Magnética Transcraniana

Lemos, T. D. A.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
thiago_domingos15@hotmail.com

Feitosa, M. A. F.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
marcilio.poli.br

Resumo *Este artigo resume os conceitos da estimulação magnética transcraniana, que é uma poderosa técnica não-invasiva de tratamentos e estudos neurológicos. Em combinação com essa técnica, o método dos elementos finitos (MEF) foi adaptado como uma alternativa de diminuir o custo computacional da análise analítica e obter o gradiente do campo elétrico em qualquer ponto no interior da cabeça humana, modelada através de uma esfera homogênea.*

Abstract *This paper summarizes the concepts of transcranial magnetic stimulation, which is a powerful non-invasive technique for treatments and neurological studies. In combination with this technique, the finite element method (FEM) was adapted as an alternative to reduce the computational cost of analytical analysis and obtain the gradient of the electric field at any point inside the human head, modeled by a homogeneous sphere.*

1 Introdução

A estimulação magnética transcraniana (TMS) é uma técnica não-invasiva de estimulação dos tecidos nervosos. Essa técnica vem ganhando aplicação crescente no tratamento da depressão, bem como na área fisioterápica ou de reabilitação muscular. Ademais, uma lista crescente de outras doenças está sob estudo de sua utilização. [1]-[3]

A TMS segue os princípios fundamentais da indução eletromagnética: uma corrente variável no tempo produz um campo magnético variável no tempo e esse campo magnético variável induz um fluxo de corrente elétrica em condutores próximos – incluindo os tecidos humanos. [1]-[6]

O campo elétrico induzido através da TMS é capaz de despolarizar as membranas celulares das estruturas nervosas através da alteração do potencial transmembrana, e desta maneira gerar um potencial de ação que se propagará em forma de uma onda até atingir células nervosas adjacentes. Nesse processo, células musculares também poderão ser atingidas causando uma contração nas mesmas. [2]-[3]

Se o potencial intracelular mudar ao longo da direção positiva, então esta é a estimulação excitável ou despolarização, e se o potencial intracelular for alterado ao longo da direção negativa, então essa estimulação é proibitiva ou hiperpolarizante. Se a estimulação na membrana é insuficiente para alcançar o limiar de excitação transmembrana, então a ação potencial na membrana celular não irá ocorrer [2]. Esse limiar é de aproximadamente – 55 mV. A Fig. 1 ilustra uma aplicação da TMS.



Fig 1. Estimulação magnética de nervo periférico.

Para se determinar se uma configuração de uma bobina, aliada ao circuito elétrico do estimulador, será capaz de gerar estímulos efetivos na região de interesse, são realizadas simulações onde inicialmente se estuda o comportamento do circuito elétrico, em seguida se determina a intensidade do campo elétrico induzido em determinado

ponto do tecido nervoso alvo (bem como o gradiente desse campo) e por fim, se analisa através do modelo biofísico se o estímulo gerado irá, ou não, produzir um potencial de ação. [2]- [3]

O uso do método dos Elementos Finitos nesse trabalho visa facilitar o cálculo do gradiente do campo em pontos internos do corpo humano.

2 O modelo de Hodgkin-Huxley

O modelo de Hodgkin-Huxley (H-H) descreve o comportamento dinâmico do potencial da membrana celular quando ela é submetida a um estímulo externo. [2]-[3] O modelo H-H é baseado no axônio gigante de lula e é o primeiro modelo iônico que descreve a excitação da membrana.

Hodgkin e Huxley consideraram a membrana da célula como vários ramos paralelos independentes por onde a corrente passa, como mostrado na Fig 2. O modelo determina a variação da condutividade da membrana celular - que está alinhada ao longo da direção x - a certos íons e consegue prever o mecanismo de ativação celular.

Os canais iônicos ativos presentes na célula, denominados de bombas iônicas, por produzirem um gradiente iônico através da membrana, são representados por potenciais, associadas aos canais iônicos de sódio, potássio e outros íons.

Como a membrana está submetida a um gradiente iônico entre suas faces, ela exibe um efeito capacitivo representado pela capacitância por unidade de comprimento. Além disso, também é considerada a resistência longitudinal por unidade de comprimento.

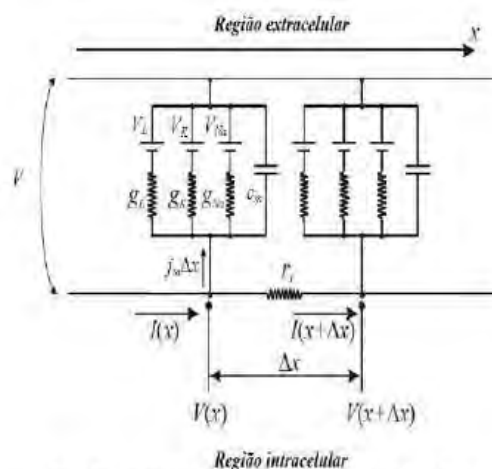


Fig 2. Modelo de parâmetros distribuídos para a membrana de um axônio.

Após análise e manipulações algébricas, verificou-se que o comportamento dinâmico do potencial transmembrana é determinado pela seguinte equação diferencial:

$$\Lambda^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} - V = \tau \frac{\partial V}{\partial t} + \Lambda^2 \frac{\partial E_x}{\partial x}, \quad (1)$$

onde os parâmetros Λ e τ são funções do potencial de membrana.

Observando essa equação, observa-se que a não homogeneidade representada pelo gradiente longitudinal do campo elétrico é capaz de alterar a resposta do sistema desde uma simples alteração difusa até a propagação de um impulso em forma de onda. [2] A esse termo chamamos de função de ativação.

3 O Circuito Estimulador

O método mais comumente empregado para se gerar um campo magnético variável é a rápida descarga de um banco de capacitores através de uma bobina. Para isso, utiliza-se um circuito RLC, modelado pela equação diferencial: [1]-[2],[4]-[6]

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i = 0 \quad (2)$$

O circuito básico utilizado pela TMS capaz de gerar os efeitos descritos é indicado na Fig. 3, e é formado basicamente por um capacitor, um indutor (bobina), um resistor, uma chave semicondutora e um circuito de controle que é responsável pela geração de pulsos e pode ser pré-configurado de acordo com a aplicação.

Uma vez que a estimulação do tecido é provocada pela indução de uma corrente de densidade suficiente, que é proporcional à taxa de variação com o tempo da densidade do fluxo magnético (ou seja, dB/dt), é importante projetar o circuito de estimulação que permita essa variação. [2]

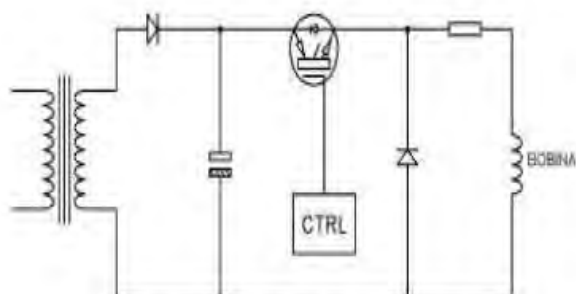


Fig 3. O circuito RLC da TMS.

Esses circuitos estimuladores devem prover uma exata variação da corrente, pois apenas valores específicos de amplitude, duração e sentido serão capazes de estimular determinada estrutura nervosa, a fim de se executar específico tipo de tratamento de neuropatias.

A corrente determinada na Fig. 3 é do tipo monofásica, dado que os parâmetros determinam resposta sobrearmortecida. Pode-se ver esse tipo de resposta na Fig. 4.

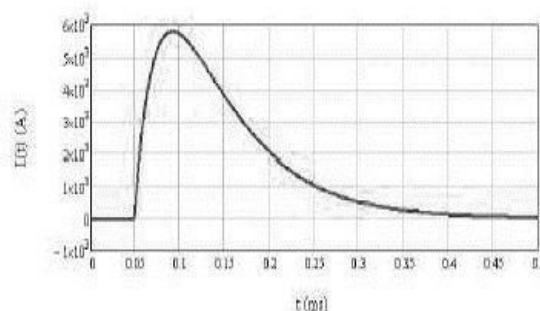


Fig 4. Pulso de corrente monofásica.

4 Modelamento matemático da cabeça humana usando o MEF

Apesar da técnica da estimulação magnética também ser utilizada na estimulação de nervos periféricos, o alvo principal dos pulsos eletromagnéticos é o córtex cerebral, onde os estímulos podem atingir áreas relacionadas a diversas doenças que afetam o sistema nervoso. [1]-[3]

A estimulação desses tecidos por campos magnéticos leva uma grande vantagem sobre a estimulação elétrica, pois o campo magnético quase não sofre atenuações nos tecidos biológicos, enquanto a corrente elétrica precisa atravessar regiões que atuam como isolantes elétricos (ossos, gordura, pele, etc).

O cálculo dos campos no espaço é feito através das equações clássicas da eletrodinâmica, mas no interior dos tecidos (homogêneos ou não), se torna mais difícil.

Já que os tecidos humanos apresentam tanto propriedades eletromagnéticas, como também geometrias complexas, um modelo analítico de tal problema seria extremamente complicado. Em razão disto, deve-se fazer uso de um método numérico ao invés de um método analítico.

O método escolhido foi o método dos elementos finitos (MEF) que apresenta grande eficiência em domínios com condições de contorno complexas. [6]- [9]

No MEF, um sistema contínuo se transforma em um sistema discreto que consiste em um número finito de elementos cujas geometrias são mais simples. Essas geometrias são ligadas por nós, dessa forma uma estrutura em forma de malha ou ‘mesh’ é criada para que então a variável desejada seja encontrada. Tais elementos também podem modelar domínios não homogêneos, assumindo que cada elemento é homogêneo. [6]-[9] Na Fig. 5 é mostrada uma discretização de uma esfera multicamadas, cada camada representaria um tecido diferente da cabeça. A equação diferencial parcial pode então ser resolvida aproximadamente através da resolução de um sistema de equações lineares. Quanto maior o número de subdivisões do domínio, maior será a aproximação da resposta exata.

No presente trabalho, usou-se um modelo esférico homogêneo para representar a cabeça humana. Tal modelo está representado na Fig.6.

Então, neste projeto conseguiu-se calcular a distribuição do campo vetorial elétrico no espaço tridimensional a partir da solução da equação de Laplace, ou seja, para os campos eletrostáticos que são os campos invariantes no tempo. Esse problema é regido pela seguinte equação:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0, \quad (3)$$

em que V é o potencial elétrico no ponto P(x₀,y₀,z₀).

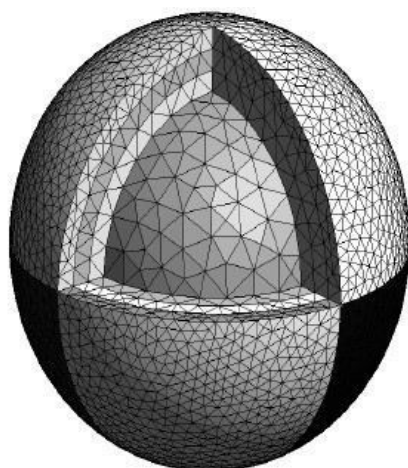


Fig. 5. Esfera heterogênea multicamadas discretizada.

Nas etapas iniciais, estudamos o cálculo do gradiente de temperaturas via MEF em regimes permanentes. Estudou-se primeiramente o caso da condução de calor em planos e depois em volumes cúbicos. Essa metodologia foi adotada, pois a equação de transferência de calor em regime permanente é basicamente a mesma equação que rege a eletrostática.

O software Gmsh versão 2.4.2 foi usado para fazer a discretização do domínio. Nessa discretização, foram utilizados elementos tetraédricos de primeira ordem, obtendo no total 328 nós e 1466 elementos.

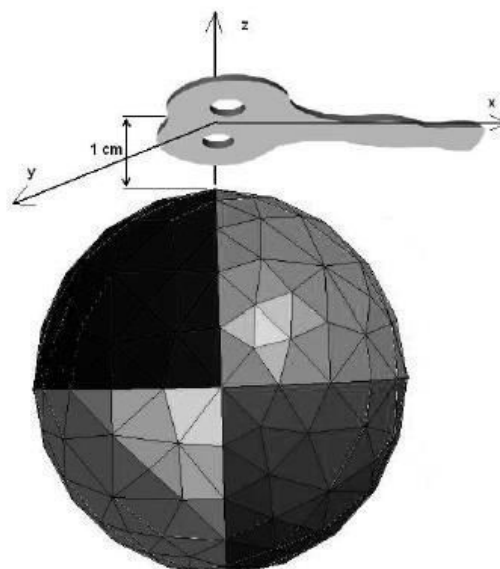


Fig. 6. Esfera homogênea discretizada.

Observando a Fig. 6, percebemos a presença da bobina de estimulação, posicionada no eixo z, que passa pelo centro da esfera. Para essa bobina, foi-se calculado o potencial elétrico em 14 nós através da formulação desenvolvida por [2], enquanto aos outros nós foi-se atribuído o potencial zero. Esses potenciais foram inseridos como condição de contorno de Dirichlet. [5]

Nesta análise, a bobina considerada foi do tipo “butterfly”, com r = 2,3cm (raio das espiras da bobina) e a = 180° (ângulo entre as espiras) em t = 0s, N=10 (número de voltas em cada espira).

A cabeça foi modelada como uma esfera homogênea de raio de 10cm. Os parâmetros do circuito estimulador encontram-se na tabela 1:

Tabela 1. Valores dos elementos do circuito usado

elemento	Valor
Capacitor	200μF
Indutor	10μH
Resistência	0,5Ω

A tensão inicial do banco capacitores é de 4000V.

Então, os valores da função de ativação $\partial E_x/\partial x$ em alguns pontos foram calculados pelo método descrito em [2], tais pontos, que foram utilizados como condição de contorno Dirichlet, estão indicados na tabela 2 abaixo:

Tabela 2. Condições de contorno

Ponto	Coordenada (cm)	$\partial E_x/\partial x$ (mV/cm ²)
A	(0,0,-1)	0
B	(5,5,-3.93)	1.217
C	(5,-5,-3.93)	-1.217
D	(-5,5,-3.93)	-1.217
E	(-5,-5,-3.93)	1.217
F	(7.07, 7.07,-11)	0.116
G	(7.07, -7.07, -11)	-0.116
H	(-7.07, 7.07, -11)	-0.116
I	(-7.07, -7.07, -11)	0.116
J	(5,5,-18.07)	0.015
K	(5,-5,-18.07)	-0.015
L	(-5,5,-18.07)	-0.015
M	(-5,-5,-18.07)	0.015
N	(0,0,-21)	0

Nos demais pontos a variável foi encontrada via MEF, através de algoritmo desenvolvido em MATLAB. Também foi desenvolvido algoritmo em C++, devido à sua maior velocidade de computação.

A Fig. 7 mostra os resultados obtidos no plano xz definido pela Fig. 6.

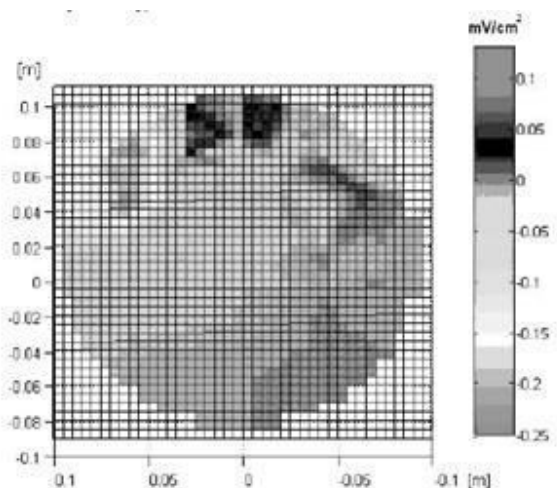


Fig. 7. Gradiente do campo elétrico induzido para $y=0$

5 Discussões

No âmbito do desenvolvimento deste trabalho, foram geradas contribuições para o estudo da estimulação magnética através de uma abordagem via MEF. Inicialmente desenvolveu-se um algoritmo robusto escrito em C++ e em MATLAB através do formalismo matemático exigido pelo MEF em que, com simulações que convergem a um resultado, pode-se determinar a distribuição do gradiente do campo elétrico induzido na cabeça humana através de uma formulação baseada na eletrostática.

A entrada de dados é feita através de duas matrizes definidas em dois arquivos de texto previamente geradas por um software discretizador de domínios chamado gmsh. O processo computacional necessário ao cálculo da distribuição do gradiente do campo elétrico induzido, que utiliza processo analítico, [2],[3] é reduzido ao cálculo em alguns pontos e, após modelamento via MEF, encontra-se o valor da variável nos demais pontos.

Referências

- [1] E. M. Wassermann, C. M. Epstein, *Oxford Handbook of Transcranial Stimulation*, Oxford University Press, 2008.
- [2] FEITOSA, M. A. F. Contribuições para o projeto de estimuladores magnéticos. 2009. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia e Geociências – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco. 2009.
- [3] FEITOSA, M. A. F.; FONTANA, E., “Solução série para o campo elétrico induzido por estimuladores magnéticos na geometria slinky generalizada”, *Anais do XVI Congresso Brasileiro de Automática*, Salvador, Sociedade Brasileira de Automática, 2006, pp. 3391-3396.
- [4] Cai D., Fang Y., Cao X., “Transcranial magnetic stimulation: modeling, calculating and system design”, *2nd International Conference on Digital Object Identifier*, 2009, pp. 1-5.
- [5] V. T. Kastreva, S. P. Papazov, e I. K. Daskalov, “Peripheral nerve magnetic stimulation: influence of tissue non-homogeneity”, *BioMed Central*, 2003.
- [6] S. Yang., G. Xu., Y. Chen., et al, “3D Realistic Head Model Simulation Based on Transcranial Magnetic Stimulation”, *Engineering in Medicine and Biology Society*, 2006, pp. 6469-6472.

- [7] O. C. Zienkiewicz, *The Finite Element Method*, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000.
- [8] Matthew N. O. Sadiku, *Numerical Techniques in Electromagnetics*, 3^aed. CRC Press, 2009.
- [9] Jianming Jin, *The Finite Element Method in Electromagnetics*, John Wiley & Sons, 1992.

Modelagem e Simulação dos Efeitos Térmicos de um Reator de Leito Fixo para Reforma do Alcatrão para Geração de Gás Combustível

Silva, F. R.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Autor1@meu-email

Silva, J. D.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Autor2@meu-email

Autor 3

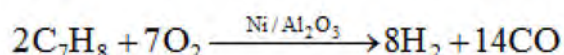
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Autor2@meu-email

Resumo *O alcatrão formado durante o processo de gaseificação de biomassa é um composto indesejável que prejudica o rendimento do processo e danifica equipamentos. Os métodos de eliminação do alcatrão podem ser divididos em primários e secundários, sendo os primários os métodos catalíticos, e os secundários os métodos de limpeza do gás produzido. O foco deste trabalho é o estudo da eliminação do alcatrão através do processo catalítico utilizando-se um catalisador a base de níquel. Através do modelo matemático proposto, os componentes do processo de craqueamento do alcatrão serão analisados, quantificando-se produção e consumo e o comportamento das temperaturas nas fases gasosa e sólida para um reator de leito fixo.*

Abstract *The tar formed during the gasification of biomass is an undesirable compound that interferes with the performance of the process and damage equipment. The methods of disposal of tar can be divided into primary and secondary, with the primary catalytic methods, and secondary methods of cleaning the gas produced. The focus of this work is to study the removal of tar through the catalytic process using a catalyst based on nickel. Through the mathematical model, the components of the tar cracking process will be analyzed, quantifying the production and consumption and the behavior of temperatures in gaseous and solid phases for a fixed bed reactor..*

1 Introdução

A gaseificação de biomassa é um importante processo de aproveitamento de biomassa para a produção de combustíveis e produtos químicos. Durante a gaseificação, a biomassa, através de reações com ar, oxigênio ou vapor de água é convertida em uma mistura de gases como CO_2 , CO , H_2 , H_2O . Além dos gases há também a formação de uma pequena quantidade de hidrocarbonetos voláteis juntamente com o alcatrão [1]. O alcatrão formado durante o processo de gaseificação pode ser definido como todo contaminante orgânico com peso molecular maior do que o do benzeno [2]. Porém, esta é apenas uma das diversas definições dadas a este composto, já que para defini-lo com base em sua composição química fatores como variação da composição do produto gasoso final desejado para uma aplicação particular e de como o alcatrão é coletado e analisado devem ser levados em consideração. O alcatrão é um composto indesejável, pois pode condensar ou polimerizar-se em estruturas mais complexas nas tubulações, filtros e trocadores de calor, danificando equipamentos, diminuindo a eficiência total e aumentando o custo do processo [3]. O principal método de remoção do alcatrão formado durante o processo de gaseificação de biomassa é a reforma catalítica, os tipos de catalisadores mais amplamente pesquisados e desenvolvidos são a dolomita calcinada, olivina e catalisadores a base de Ni, sendo o mais promissor o catalisador a base de níquel. O objetivo deste trabalho é caracterizar o craqueamento do alcatrão através do catalisador a base de níquel. Para isso será considerada a seguinte reação:



O tolueno foi usado como composto modelo de alcatrão, porque representa uma estrutura aromática estável resultante em alcatrões formados em processo a altas temperaturas [4]. Através do modelo matemático desenvolvido serão analisados os perfis de temperatura e de transferência de massa para todos os componentes da reação.

2 Modelagem Matemática

Neste trabalho o modelo matemático para a reforma catalítica do alcatrão foi desenvolvido através das equações de conservação de energia e massa, assim desenvolveu-se um conjunto de equações que caracteriza a transferência de energia e massa para o fenômeno da reforma do alcatrão cuja solução descreve os perfis de temperatura e fração molar para todos os componentes da reação estudada. As

equações gerais que descrevem o fenômeno da reforma catalítica do alcatrão são as seguintes:

- Balanco de energia para a fase vapor:

$$(1 - \varepsilon_s) \rho_v C_{p,v} \frac{\partial T_v}{\partial t} + \rho_v C_{p,v} V_v \frac{\partial T_v}{\partial z} = (1 - \varepsilon_s) \lambda_{ax,v} \frac{\partial^2 T_v}{\partial z^2} - (\alpha_{vs} \eta_{CE} \varepsilon_s a_s) [T_v - T_s] + \alpha_{vw} (1 - \eta_{EC}) a_w [T_v - T_w] \quad (1)$$

- Condições iniciais e de contorno:

$$T_v|_{t=0} = T_{v,e} \quad (2)$$

$$(1 - \varepsilon_s) \lambda_{ax,v} \frac{\partial T_v}{\partial z} \Big|_{z=0^+} = \rho_v C_{p,v} V_v [T_v|_{z=0^+} - T_{v,e}] \quad (3)$$

$$\frac{\partial T_v}{\partial z} \Big|_{z=L} = 0 \quad (4)$$

- Balanco de energia para a fase sólida:

$$\varepsilon_s \rho_s C_{p,s} \frac{\partial T_s}{\partial t} = \varepsilon_s \lambda_{ax,s} \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2} + (\alpha_{vs} M_{CE} \varepsilon_s a_s) [T_v - T_s] + \varepsilon_s r'_x (-\Delta H_r) \quad (5)$$

- Condições iniciais e de contorno:

$$T_s|_{t=0} = T_{s,e} \quad (6)$$

$$\varepsilon_s \lambda_{ax,s} \frac{\partial T_s}{\partial z} \Big|_{z=0^+} = q_c \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial T_s}{\partial z} \right|_{z=L} = 0 \quad (8)$$

- Balanco de massa para o tolueno:

$$h_t \frac{\partial C_t}{\partial t} + \frac{4Q_g}{\pi d^2} \frac{\partial C_t}{\partial z} = D_t \frac{\partial^2 C_t}{\partial z^2} + \epsilon_s M_t R_t \quad (11)$$

- Condições iniciais e de contorno para o tolueno:

$$C_t|_{t=0} = C_{t,0} \quad (12)$$

$$D_t \left. \frac{\partial C_t}{\partial z} \right|_{z=0^+} = \frac{4Q_g}{\pi d^2} [C_t|_{z=0^+} - C_{t,0}] \quad (13)$$

$$\left. \frac{\partial C_t}{\partial z} \right|_{z=l} = 0 \quad (14)$$

- Balanco de massa para o O_2 :

$$h_t \frac{\partial C_{O_2}}{\partial t} + \frac{4Q_g}{\pi d^2} \frac{\partial C_{O_2}}{\partial z} = D_{O_2} \frac{\partial^2 C_{O_2}}{\partial z^2} + \epsilon_s M_{O_2} R_{O_2} \quad (15)$$

- Condições iniciais e de contorno para o O_2 :

$$C_{O_2}|_{t=0} = C_{O_2,0} \quad (16)$$

$$D_{O_2} \left. \frac{\partial C_{O_2}}{\partial z} \right|_{z=0^+} = \frac{4Q_g}{\pi d^2} [C_{O_2}|_{z=0^+} - C_{O_2,0}] \quad (17)$$

$$\left. \frac{\partial C_{O_2}}{\partial z} \right|_{z=l} = 0 \quad (18)$$

- Balanco de massa para o CO:

$$h_t \frac{\partial C_{CO}}{\partial t} + \frac{4Q_g}{\pi d^2} \frac{\partial C_{CO}}{\partial z} = D_{CO} \frac{\partial^2 C_{CO}}{\partial z^2} + \epsilon_s M_{CO} R_{CO} \quad (19)$$

- Condições iniciais e de contorno para o CO:

$$C_{CO}|_{t=0} = C_{CO,0} \quad (20)$$

$$D_{CO} \left. \frac{\partial C_{CO}}{\partial z} \right|_{z=0^+} = \frac{4Q_g}{\pi d^2} [C_{CO}|_{z=0^+} - C_{CO,0}] \quad (21)$$

$$\left. \frac{\partial C_{CO}}{\partial z} \right|_{z=l} = 0 \quad (22)$$

- Balanco de massa para o H_2 :

$$h_t \frac{\partial C_{H_2}}{\partial t} + \frac{4Q_g}{\pi d^2} \frac{\partial C_{H_2}}{\partial z} = D_{H_2} \frac{\partial^2 C_{H_2}}{\partial z^2} + \epsilon_s M_{H_2} R_{H_2} \quad (23)$$

- Condições iniciais e de contorno para o H_2 :

$$C_{H_2}|_{t=0} = C_{H_2,0} \quad (24)$$

$$D_{H_2} \frac{\partial C_{H_2}}{\partial z} \Big|_{z=0^+} = \frac{4Q_g}{\pi d^2} [C_{H_2}|_{z=0^+} - C_{H_2,0}] \quad (25)$$

$$\frac{\partial C_{H_2}}{\partial z} \Big|_{z=l} = 0 \quad (26)$$

As equações de (1) a (26) podem ser simplificadas segundo as seguintes hipóteses simplificadoras: (i) modelo unidimensional, (ii) sistema não-isotérmico, (iii) as temperaturas da fase gasosa e sólida são modeladas através de modelos de dispersão térmica e (iv) os balanços de massa para a fase gasosa e sólida são modelados levando-se em consideração os efeitos de dispersão axial. Baseado nessas hipóteses, o modelo matemático simplificado para a reforma catalítica do alcatrão é formado pelas equações simplificadas de transporte energia e massa que descrevem o comportamento das temperaturas e frações molares. Assim, as equações simplificadas que formam o modelo são expressas por:

- Balanço de energia para a fase vapor:

$$\frac{dT_v}{dt} = \alpha_{13,v}(T_v)_j^{(k)} + \alpha_{3,v}(T_s)_j^{(k)} - \alpha_{4,v}(T_w)_j^{(k)} + \alpha_{14,v} \quad (27)$$

- Balanço de energia para a fase sólida:

$$\frac{dT_s}{dt} = \alpha_{21,s}(T_s)_j^{(k)} + \alpha_{16,s}(T_v)_j^{(k)} + \alpha_{22,s} \quad (28)$$

- Balanço de massa para o tolueno:

$$\frac{dC_t}{dt} = \alpha_{12,t}(C_t)_j^{(k)} + \alpha_{13,t} + \alpha_{2,t} \quad (29)$$

- Balanço de massa para o O_2 :

$$\frac{dC_{O_2}}{dt} = \alpha_{12,O_2}(C_{O_2})_j^{(k)} + \alpha_{13,O_2} + \alpha_{2,O_2} \quad (30)$$

- Balanço de massa para o CO

$$\frac{dC_{CO}}{dt} = \alpha_{12,CO}(C_{CO})_j^{(k)} + \alpha_{13,CO} + \alpha_{2,CO} \quad (31)$$

- Balanço de massa para o H_2 :

$$\frac{dC_{H_2}}{dt} = \alpha_{12,H_2}(C_{H_2})_j^{(k)} + \alpha_{13,H_2} + \alpha_{2,H_2}$$

A simplificação das equações gerou um conjunto de parâmetros α que estão apresentados nas tabelas 1 a 5 do apêndice A.

3 Resultados e Discussões

Nesta seção, os resultados da simulação do modelo serão apresentados. A resolução do modelo mostra o perfil do comportamento da temperatura nas fases gasosa e sólida e fração molar para todos os componentes envolvidos na reação de reforma catalítica do alcatrão. Estas equações foram resolvidas usando o método Runge Kutta Gill, na sequência, foi desenvolvido um programa computacional na linguagem FORTRAN para fornecer os resultados das variáveis T_g , T_s , C_7H_8 , O_2 , CO e H_2 . O programa recebeu parâmetros de experimentos independentes mostrados na Tabela 1.

$\epsilon_s = 0,72$	$a_w = 0,57 \text{ m}^2$
$\rho_v = 0,956 \text{ kg/m}^3$	$q_c = 208 \text{ kJ/s}$
$C_{p,v} = 32 \text{ J/mol K}$	$h_t = 0,46$
$V_v = 0,021 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_g = 2,32 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
$\lambda_{ax,v} = 2,09 \text{ J/m}^2\text{s K}$	$d = 1 \text{ m}$
$\alpha_{v2} = 1,81 \text{ W/m}^2\text{ K}$	$D_t = 1,25 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
$\eta_{ce} = 0,35$	$D_{O_2} = 3,24 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
$a_s = 156 \text{ m}^{-1}$	$D_{CO} = 4,61 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
$\rho_s = 1250 \text{ kg/m}^3$	$D_{H_2} = 6,52 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
$C_{p,s} = 18 \text{ J/mol K}$	$\eta_t = 0,95$
$\lambda_{ax,s} = 1,79 \text{ J/m}^2\text{s K}$	$\eta_{O_2} = 0,65$
$\Delta H_r = -283 \text{ kJ/mol}$	$\eta_{CO} = 0,79$
$\alpha_{vw} = 0,12$	$\eta_{H_2} = 0,86$

Os resultados serão mostrados em sua forma gráfica. A figura 1 caracteriza os perfis de temperatura para as fases gasosa e sólida, sendo o aumento da temperatura tanto da fase sólida como da fase gasosa devido à agitação molecular dentro do gaseificador.

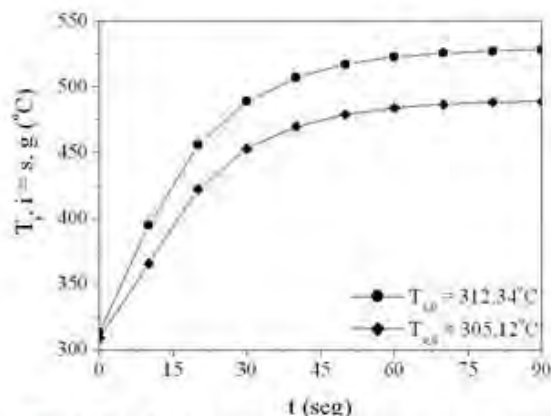


Fig 1. Perfis de temperatura para a fase vapor (T_v) e para a fase sólida (T_s)

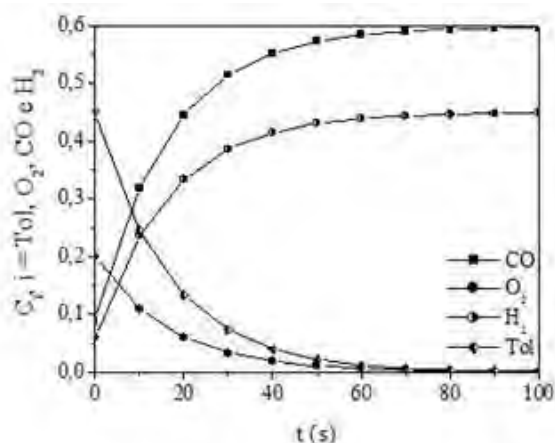


Fig 2. Perfis de concentrações das espécies químicas C_7H_8 , O_2 , CO e H_2 , na saída do reator catalítico trifásico de leito fixo.

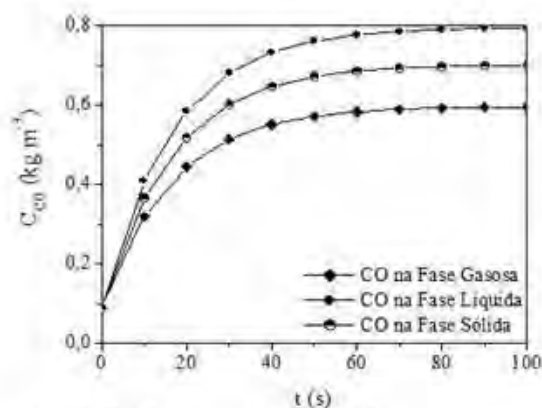


Fig 3. Perfis da concentração do componente CO nas fases gasosa, líquida e sólida do reator trifásico catalítico de leito fixo

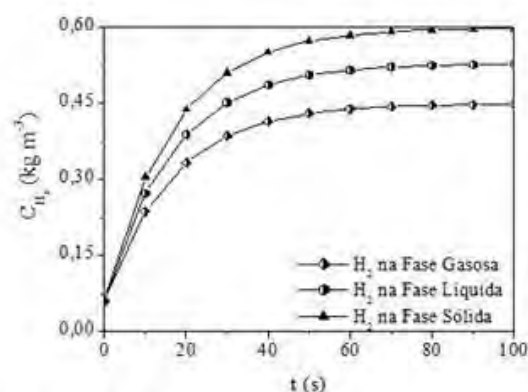


Fig 4. Perfis da concentração do componente H_2 nas fases gasosa, líquida e sólida

4 Conclusões

O estudo mostrado no presente trabalho permitiu analisar os comportamentos da temperatura do fluido gasoso, da temperatura na fase sólida e da fração molar das espécies químicas C_7H_8 , O_2 , CO e H_2 . A partir dos resultados mostrados, pode-se apresentar as seguintes conclusões:

- A temperatura da fase vapor aumenta estabilizando-se em $\pm 487,5$ °C;
- A temperatura da fase sólida aumenta estabilizando-se em ± 525 °C;
- A concentração de CO cresce conforme o tolueno e o O_2 são consumidos e estabiliza-se em $\pm 0,6$ Kg m⁻³;

- A concentração de H_2 cresce conforme o tolueno e o O_2 são consumidos e estabiliza-se em $\pm 0,45 \text{ Kg m}^{-3}$;

5 Notoções

$C_{p,v}$	Capacidade calorífica da fase vapor de tolueno, J/mol K
$C_{p,s}$	Capacidade calorífica da fase sólida, J/mol K
V_v	Velocidade da fase vapor, m/s
a_s	Área específica por volume, m^2/m^3
T_v	Temperatura da fase vapor, K
T_s	Temperatura da fase sólida, K
T_w	Temperatura da parede, K
$T_{v,l}$	Temperatura do vapor na saída do reator, K
a_w	Área da parede do reator, m^2
r'_x	Taxa de reação, mol/s m^3
$-\Delta H_r$	Entalpia da reação, k J/mol
q_c	Fluxo de calor na entrada do reator, kJ/s
h_t	Coefficiente de retenção do tolueno, (-)
h_{O_2}	Coefficiente de retenção do oxigênio, (-)
h_{CO}	Coefficiente de retenção do óxido de carbono, (-)
h_{H_2}	Coefficiente de retenção do hidrogênio, (-)
Q_g	Vazão do gás, m^3/s
d	Diâmetro do reator, m
D_t	Coefficiente molecular de difusão do tolueno, m^2/s
D_{O_2}	Coefficiente molecular de difusão do oxigênio, m^2/s
D_{CO}	Coefficiente molecular de difusão do óxido de carbono, m^2/s
D_{H_2}	Coefficiente molecular de difusão do hidrogênio, m^2/s
R_t	Taxa de reação para o tolueno, 1/s
R_{O_2}	Taxa de reação para o oxigênio, 1/s
R_{CO}	Taxa de reação para o monóxido de carbono, 1/s
R_{H_2}	Taxa de reação para o hidrogênio, 1/s

5 Letras Gregas

ε_s	Porosidade da fase sólida, (-)
ρ_v	Densidade da fase vapor de tolueno, Kg/m^3
ρ_s	Densidade da fase sólida, Kg/m^3
$\lambda_{ax,v}$	Dispersão térmica do vapor de tolueno, J/ m^2s K
$\lambda_{ax,s}$	Dispersão térmica da fase sólida, J/ m^2s K

$\alpha_{v,s}$	Coefficiente de transferência vapor de tolueno-sólido, W/ m^2 K
η_{CE}	Eficiência de molhabilidade externa, (-)
η_t	Fator de efetividade do tolueno, (-)
η_{O_2}	Fator de efetividade do oxigênio, (-)
η_{CO}	Fator de efetividade do monóxido de carbono, (-)
η_{H_2}	Fator de efetividade do hidrogênio, (-)
$\alpha_{v,w}$	Coefficiente de transferência na parede, (-)

7 Agradecimentos

Os autores deste artigo gostariam de agradecer ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro dado. (Processo 48354 / 2007 / Projeto / Título: Modelagem Matemática, Simulação Computacional e Otimização dos Fenômenos de Transferência de Energia e Massa para um Reator Trifásico de Leito Fixo para a Reforma do Alcatrão./ Edital CNPq 15 / 2007 – Universal).

Referências

- [1] Sundac, Nikola., *Catalytic Cracking of tar from biomass gasification. Department of Chemical Engineering,, Lund University, P. O. Box 124, SE-221 00 Lund, Sweden*
- [2] Devi, L., Ptasiński, K.J., Janssen, F.J.J.G, A review of primary measures for tar elimination in biomass gasification process, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 24., pp. 125-140 (2003).
- [3] Lamacz, A.; Krzton, A.; Musi, A.; Da Costa, P.; Reforming of Model Gasification Tar Compounds. *Catalysis Letters*, V. 128, Numbers 1-2, pp. 40-48.
- [4] Swierczynski, D.; Courson, C.; Kiennemann, A Study of steam reforming of toluene used as model compound of tar produced by biomass gasification. *Chemical Engineering and Processing*, v. 47, p. 508-513, 2007.
- [5] Milne T.A., Evans R.J., *Biomass Gasifier "Tars": Their Nature, Formation and Conversion*, NREL/TP-570-25357(1998).
- [6] Castro, A.J.A., Cassiano, D.A., Ferreira, N.L., *Gaseificação do bagaço de cana-de-açúcar: modelagem, análise e comparação com sistema real. Exacta*, v. 7, pp 39-47 (2009).

9 Apêndice A

Tabela A1: Parâmetros α para o sistema de equações

$\alpha_{1,v} = \frac{V_v}{(1-\varepsilon_s)}$	$\alpha_{12,v} = \frac{2\Delta z \alpha_{s,v} T_{v,s}}{2 - \Delta z \alpha_{s,v}}$
$\alpha_{2,v} = \frac{\lambda_{sx,v}}{\rho_v C_{p,v}}$	$\alpha_{12,s} = \alpha_{2,s} \alpha_{9,s} + \alpha_{6,s} \alpha_{11,s} + \alpha_{7,s}$
$\alpha_{3,v} = \frac{\alpha_{v,s} \eta_{CE} \varepsilon_s a_s}{(1-\varepsilon_s) \rho_v C_{p,v}}$	$\alpha_{14,v} = \alpha_{5,v} \alpha_{12,v} - \alpha_{5,v} \alpha_{10,v}$
$\alpha_{4,v} = \frac{\alpha_{v,s} (1 - \eta_{CE}) a_s}{(1-\varepsilon_s) \rho_v C_{p,v}}$	$\alpha_{15,s} = \frac{\lambda_{sx,s}}{\rho_s C_{p,s}}$
$\alpha_{5,v} = \frac{\alpha_{2,v}}{(\Delta z)^2} - \frac{\alpha_{1,v}}{2\Delta z}$	$\alpha_{16,s} = \frac{\alpha_{v,s} \eta_{CE} a_s}{\rho_s C_{p,s}}$
$\alpha_{6,v} = \frac{\alpha_{2,v}}{(\Delta z)^2} + \frac{\alpha_{1,v}}{2\Delta z}$	$\alpha_{17,s} = \frac{r'_x (-\Delta H_r)}{\rho_s C_{p,s}}$

$\alpha_{7,v} = \alpha_{4,v} - \alpha_{3,v} - \frac{2\alpha_{2,v}}{(\Delta z)^2}$	$\alpha_{18,s} = \frac{\alpha_{15,s}}{(\Delta z)^2}$
$\alpha_{8,v} = \frac{\rho_v C_{p,v} V_v}{(1-\varepsilon_s) \lambda_{sx,v}}$	$\alpha_{19,s} = \left[\frac{-2\alpha_{15,s}}{(\Delta z)^2} - \alpha_{16,s} \right]$
$\alpha_{9,v} = \frac{2 + \Delta z \alpha_{s,v}}{2 - \Delta z \alpha_{s,v}}$	$\alpha_{20,s} = \frac{-q_c \Delta z}{\varepsilon_s \lambda_{sx,s}}$
$\alpha_{10,v} = \frac{2\Delta z \alpha_{s,v} T_{v,s}}{2 - \Delta z \alpha_{s,v}}$	$\alpha_{21,s} = 2\alpha_{18,s} + \alpha_{19,s}$
$\alpha_{11,v} = \frac{2 - \Delta z \alpha_{s,v}}{2 + \Delta z \alpha_{s,v}}$	$\alpha_{22,s} = \alpha_{17,s} - \alpha_{18,s} \alpha_{20,s} + \alpha_{18,s} \alpha_{21,s}$

Tabela A2: Parâmetros α_t para o sistema de equações

$a_{1,t} = \frac{D_t}{h_t}$	$a_{7,t} = \frac{4Q_g}{\pi d^2 D_t}$
$a_{2,t} = \frac{\varepsilon_s M_t R_t}{h_t}$	$a_{8,t} = \left[\frac{2 + a_{7,t} \Delta z}{2 - a_{7,t} \Delta z} \right]$
$a_{3,t} = \frac{4Q_g}{h_t \pi d^2}$	$a_{9,t} = \left[\frac{2a_{7,t} \Delta z}{2 - a_{7,t} \Delta z} \right]$
$a_{4,t} = \left[\frac{a_{1,t}}{\Delta z^2} - \frac{a_{3,t}}{2\Delta z} \right]$	$a_{10,t} = \left[\frac{2 - a_{7,t} \Delta z}{2 + a_{7,t} \Delta z} \right]$
$a_{5,t} = \left[\frac{a_{1,t}}{\Delta z^2} + \frac{a_{3,t}}{2\Delta z} \right]$	$a_{11,t} = \left[\frac{2a_{7,t} \Delta z}{2 + a_{7,t} \Delta z} \right]$
$a_{6,t} = \frac{2a_{1,t}}{\Delta z^2}$	$a_{12,t} = a_{4,t} a_{8,t} + a_{5,t} a_{10,t} - a_{6,t}$
$a_{13,t} = a_{5,t} a_{11,t} + a_{2,t} - a_{4,t} a_{9,t}$	

Tabela A3: Parâmetros α_{O_2} para o sistema de equações

$a_{1,O_2} = \frac{D_{O_2}}{h_{O_2}}$	$a_{7,O_2} = \frac{4Q_g}{\pi d^2 D_{O_2}}$
$a_{2,O_2} = \frac{\varepsilon_s M_{O_2} R_{O_2}}{h_{O_2}}$	$a_{8,O_2} = \left[\frac{2 + a_{7,O_2} \Delta z}{2 - a_{7,O_2} \Delta z} \right]$
$a_{3,O_2} = \frac{4Q_g}{h_{O_2} \pi d^2}$	$a_{9,O_2} = \left[\frac{2a_{7,O_2} \Delta z}{2 - a_{7,O_2} \Delta z} \right]$
$a_{4,O_2} = \left[\frac{a_{1,O_2}}{\Delta z^2} - \frac{a_{3,O_2}}{2\Delta z} \right]$	$a_{10,O_2} = \left[\frac{2 - a_{7,O_2} \Delta z}{2 + a_{7,O_2} \Delta z} \right]$
$a_{5,O_2} = \left[\frac{a_{1,O_2}}{\Delta z^2} + \frac{a_{3,O_2}}{2\Delta z} \right]$	$a_{11,O_2} = \left[\frac{2a_{7,O_2} \Delta z}{2 + a_{7,O_2} \Delta z} \right]$
$a_{6,O_2} = \frac{2a_{1,O_2}}{\Delta z^2}$	$a_{12,O_2} = a_{4,O_2} a_{8,O_2} + a_{5,O_2} a_{10,O_2} - a_{6,O_2}$
$a_{13,O_2} = a_{5,O_2} a_{11,O_2} + a_{2,O_2} - a_{4,O_2} a_{9,O_2}$	

Tabela A4: Parâmetros α_{H_2} para o sistema de equações

$\alpha_{1,H_2} = \frac{D_{H_2}}{h_{H_2}}$	$\alpha_{7,H_2} = \frac{4Q_g}{\pi d^3 D_{H_2}}$
$\alpha_{2,H_2} = \frac{\epsilon_s M_{H_2} R_{H_2}}{h_{H_2}}$	$\alpha_{8,H_2} = \left[\frac{2 + \alpha_{7,H_2} \Delta z}{2 - \alpha_{7,H_2} \Delta z} \right]$
$\alpha_{3,H_2} = \frac{4Q_g}{h_{H_2} \pi d^2}$	$\alpha_{9,H_2} = \left[\frac{2\alpha_{7,H_2} \Delta z}{2 - \alpha_{7,H_2} \Delta z} \right]$
$\alpha_{4,H_2} = \left[\frac{\alpha_{1,H_2}}{\Delta z^2} - \frac{\alpha_{3,H_2}}{2\Delta z} \right]$	$\alpha_{10,H_2} = \left[\frac{2 - \alpha_{7,H_2} \Delta z}{2 + \alpha_{7,H_2} \Delta z} \right]$
$\alpha_{5,H_2} = \left[\frac{\alpha_{1,H_2}}{\Delta z^2} + \frac{\alpha_{3,H_2}}{2\Delta z} \right]$	$\alpha_{11,H_2} = \left[\frac{2\alpha_{7,H_2} \Delta z}{2 + \alpha_{7,H_2} \Delta z} \right]$
$\alpha_{6,H_2} = \frac{2\alpha_{4,H_2}}{\Delta z^2}$	$\alpha_{12,H_2} = \alpha_{4,H_2} \alpha_{8,H_2} + \alpha_{5,H_2} \alpha_{10,H_2} - \alpha_{6,H_2}$
$\alpha_{13,H_2} = \alpha_{5,H_2} \alpha_{11,H_2} + \alpha_{2,H_2} - \alpha_{4,H_2} \alpha_{9,H_2}$	

Tabela A5: Parâmetros α_{CO} para o sistema de equações

$\alpha_{1,CO} = \frac{D_{CO}}{h_{CO}}$	$\alpha_{7,CO} = \frac{4Q_g}{\pi d^3 D_{CO}}$
$\alpha_{2,CO} = \frac{\epsilon_s M_{CO} R_{CO}}{h_{CO}}$	$\alpha_{8,CO} = \left[\frac{2 + \alpha_{7,CO} \Delta z}{2 - \alpha_{7,CO} \Delta z} \right]$
$\alpha_{3,CO} = \frac{4Q_g}{h_{CO} \pi d^2}$	$\alpha_{9,CO} = \left[\frac{2\alpha_{7,CO} \Delta z}{2 - \alpha_{7,CO} \Delta z} \right]$
$\alpha_{4,CO} = \left[\frac{\alpha_{1,CO}}{\Delta z^2} - \frac{\alpha_{3,CO}}{2\Delta z} \right]$	$\alpha_{10,CO} = \left[\frac{2 - \alpha_{7,CO} \Delta z}{2 + \alpha_{7,CO} \Delta z} \right]$
$\alpha_{5,CO} = \left[\frac{\alpha_{1,CO}}{\Delta z^2} + \frac{\alpha_{3,CO}}{2\Delta z} \right]$	$\alpha_{11,CO} = \left[\frac{2\alpha_{7,CO} \Delta z}{2 + \alpha_{7,CO} \Delta z} \right]$
$\alpha_{6,CO} = \frac{2\alpha_{4,CO}}{\Delta z^2}$	$\alpha_{12,CO} = \alpha_{4,CO} \alpha_{8,CO} + \alpha_{5,CO} \alpha_{10,CO} - \alpha_{6,CO}$
$\alpha_{13,CO} = \alpha_{5,CO} \alpha_{11,CO} + \alpha_{2,CO} - \alpha_{4,CO} \alpha_{9,CO}$	

Análise Fluidodinâmica da Região de Gaseificação de um Gaseificador de Leite Fluidizado

Barbosa, K. R. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Katiamointeiro15@gmail.com

Silva, J. D.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

A geração de energia através da queima de biomassa é uma alternativa sustentável devido à produção de energia com baixa emissão de poluentes e por possui uma fonte renovável, como bagaço de cana e resíduos plásticos, possibilitado gerar um equilíbrio entre o consumo e produção de gás carbônico. A gaseificação em leito fluidizado é uma forma de aumentar a eficiência do uso energético da biomassa. A fluidização baseia-se fundamentalmente na circulação de sólidos juntamente com um fluido (gás ou líquido) impedindo a existência de gradientes de temperatura, de pontos muito ativos ou de regiões estagnadas no leito; proporcionando também um maior contato superficial entre sólido e fluido, favorecendo a transferência de massa e calor. A eficiência na utilização de um leito fluidizado depende em primeiro lugar do conhecimento da velocidade mínima de fluidização. Abaixo desta velocidade o leito não fluidiza; e muito acima dela, os sólidos são carregados para fora do leito. Será desenvolvido um conjunto de equações a fim de analisar a sensibilidade das frações volumétrica, velocidade e pressão na região de fluidodinâmica.

1 Introdução

Os gaseificadores de leito fluidizado caracterizam-se pela formação de um leito de biomassa em suspensão produzido por efeito do fluxo de ar forçado através de um distribuidor. É importante o bom contato entre a biomassa e o ar no leito fluidizado para que haja uma transferência de massa e energia com facilidade. A parte vital do leito fluidizado é sua alimentação de ar e combustíveis visto que sofre uma variação na quantidade de gás consumido pela turbina.

A principal vantagem dos gaseificadores de leito fluidizado sobre o de leito fixo consiste na distribuição uniforme da temperatura na região de gaseificação, pois o material inerte de baixa granulometria, que mediante a injeção de ar ou outro agente de gaseificação em pressões acima da atmosférica, entra em regime de fluidização. O estado dinâmico do leito inerte (alumina, areia) assegura uma mistura homogênea com a biomassa alimentada e os gases quentes da combustão parcial (CENBIO, 2002).

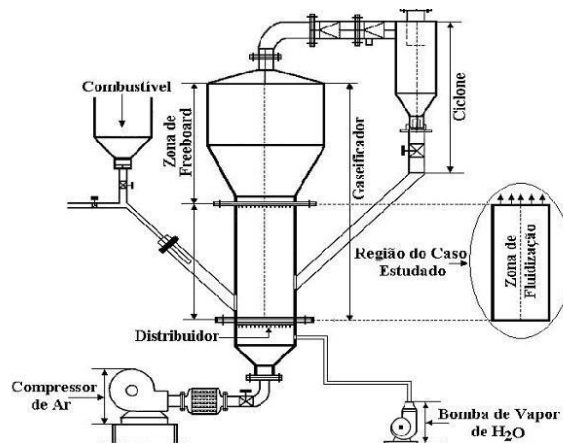
Os gases obtidos durante a gaseificação são provenientes de parte orgânica do combustível que se transforma principalmente em CO, H₂, e em menos proporções no CH₄ e outros compostos hidrocarbonetos. Sendo constituído também por outros gases inertes e elementos indesejáveis, como alcatrão, metais alcalinos, particulados sólidos, sulfetos de hidrogênio, amônia. Estes componentes devem ser removidos, para que não danifiquem os equipamentos que irão utilizá-los. (NETO, 2001).

A limpeza pode ocorrer à baixa temperatura, por exemplo, por meio de filtragem (que ocorre em torno de 200°C) e lavagem, para remoção de particulados e condensáveis, após prévio resfriamento. A limpeza também pode ser realizada a média-alta temperatura (350° - 400°C), para sua utilização em turbinas a gás e células a combustível. Em geral, essa limpeza a quente é feita com emprego de filtros cerâmicos [Macedo ET AL. 2006].

2 Descrição do modelo matemático

No desenvolvimento do modelo, foram consideradas algumas hipóteses:

1. os fluxos são unidimensionais;
2. A fase fluida é compressível
3. Todas as partículas têm a mesma dimensão
4. O movimento irregular e a colisão das partículas são ignoradas
5. A fricção sobre a parede é desprezada. Além de ser restrito a zona de fluidização como é mostrada na figura abaixo:



O fluxo de combustível não é fácil de manter estável. Dessa forma, os modelos fluidodinâmicos permitem elaborar os balanços de massa e momento para traçar estratégia operacional que possibilitem a quantificação de variáveis operacionais estáveis (Arvelakis et al., 2000, Savage, 1998).

- Balanço de massa para a fase gasosa;

$$\frac{\partial \xi_g}{\partial t} + V_g \frac{\partial \xi_g}{\partial z} = (1 - \xi_s) \frac{g}{V_g} \quad (1)$$

- Balanço de massa para a fase sólida;

$$\frac{\partial \xi_s}{\partial t} + V_s \frac{\partial \xi_s}{\partial z} = (1 - \xi_g) \frac{g}{V_s} \quad (2)$$

- Balanço de momento para a fase gasosa;

$$\rho_g \left(\xi_g \frac{\partial V_g}{\partial t} + 2 \xi_g V_g \frac{\partial V_g}{\partial z} \right) = -\rho_g \left(V_g \frac{\partial \xi_g}{\partial t} + V_g^2 \frac{\partial \xi_g}{\partial z} \right) - (1 - \xi_s) \frac{\partial P}{\partial z} - \xi_g \rho_g g - F_s \quad (3)$$

- Balanço de momento para a fase sólida;

$$\rho_s \left(\xi_s \frac{\partial V_s}{\partial t} + 2 \xi_s V_s \frac{\partial V_s}{\partial z} \right) = -\rho_s \left(V_s \frac{\partial \xi_s}{\partial t} + V_s^2 \frac{\partial \xi_s}{\partial z} \right) - (1 - \xi_g) \frac{\partial P}{\partial z} - \xi_s \rho_s g - F_s \quad (4)$$

A soma da Equação (3) com a Equação (4) resulta em uma única equação para a pressão, assim expressa:

$$\begin{aligned}
 & -\frac{\partial P}{\partial z} = \rho_s \left[\left(\xi_s \frac{\partial V_s}{\partial t} + V_s \frac{\partial \xi_s}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial V_s}{\partial z} 2\xi_s V_s + V_s^2 \frac{\partial \xi_s}{\partial z} \right) \right] + \\
 & \rho_g \left[\left(\xi_g \frac{\partial V_g}{\partial t} + V_g \frac{\partial \xi_g}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial V_g}{\partial z} 2\xi_g V_g + V_g^2 \frac{\partial \xi_g}{\partial z} \right) \right] \quad (5) \\
 & + (\rho_g \xi_g + \rho_s \xi_s) g
 \end{aligned}$$

Condições iniciais	Condições de contorno
$\xi_g _{t=0} = 0$	$\xi_g _{z=0^+} = \xi_{g,0}$
$\xi_s _{t=0} = 0$	$\xi_s _{z=0^+} = \xi_{s,0}$
$V_g _{t=0} = 0$	$V_g _{z=0^+} = V_{g,0}$
$V_s _{t=0} = 0$	$V_s _{z=0^+} = V_{s,0}$
—	$P _{z=0^+} = P_0$

Pelas condições iniciais e discretizando as condições de contorno depois ao reorganizar as equações de balanço de massa e momento para as fases gasosas e sólidas foi possíveis chegar às seguintes equações:

- Balanço de massa para a fase gasosa, discretizado;

$$\frac{d\xi_g}{dt} = \left[1 - (\xi_g)_j^{(k)} \right] \frac{g}{(V_g)_j^{(k)}} - \frac{2(V_g)_j^{(k)}}{\Delta z} [\xi_{g,0} - (\xi_g)_j^{(k)}] \quad (6)$$

- Balanço de massa para a fase sólida, discretizado;

$$\frac{d\xi_s}{dt} = \left[1 - (\xi_s)_j^{(k)} \right] \frac{g}{(V_s)_j^{(k)}} - \frac{2(V_s)_j^{(k)}}{\Delta z} [\xi_{s,0} - (\xi_s)_j^{(k)}] \quad (7)$$

- Balanço de momento para a fase gasosa, discretizado;

$$\begin{aligned}
 & -\frac{dV_g}{dt} = \frac{[1 - (\xi_g)_j^{(k)}]}{(\xi_g)_j^{(k)}} \left\{ g + \frac{2}{\rho_g \Delta z} [P_0 - (P)_j^{(k)}] \right\} + \\
 & \frac{4(V_g)_j^{(k)}}{\Delta z} [V_{g,0} - (V_g)_j^{(k)}] + \frac{(F_s)_j^{(k)}}{\rho_g (\xi_g)_j^{(k)}} + g \quad (8)
 \end{aligned}$$

- Balanço de momento para a fase sólida, discretizado;

$$\begin{aligned}
 & -\frac{dV_s}{dt} = \frac{[1 - (\xi_g)_j^{(k)}]}{(\xi_s)_j^{(k)}} \left\{ g + \frac{2}{\rho_s \Delta z} [P_0 - (P)_j^{(k)}] \right\} + \\
 & \frac{4(V_s)_j^{(k)}}{\Delta z} [V_{s,0} - (V_s)_j^{(k)}] + \frac{(F_s)_j^{(k)}}{\rho_s (\xi_s)_j^{(k)}} + g \quad (9)
 \end{aligned}$$

Nas quais as equações constitutivas discretizadas são dadas por:

$$\begin{aligned}
 & -\frac{dP}{dz} = \rho_s \left\{ -g \left[1 - (\xi_g)_j^{(k)} \right] - \frac{2[1 - (\xi_g)_j^{(k)}]}{\rho_s \Delta z} [P_0 - (P)_j^{(k)}] - \frac{(F_s)_j^{(k)}}{\rho_s} + \right. \\
 & \left. \frac{2(V_s)_j^{(k)}}{\Delta z} [\xi_{s,0} - (\xi_s)_j^{(k)}] [1 + (V_s)_j^{(k)}] \right\} \quad (10) \\
 & + \rho_g \left\{ -g \left[1 - (\xi_s)_j^{(k)} \right] - \frac{2[1 - (\xi_s)_j^{(k)}]}{\rho_g \Delta z} [P_0 - (P)_j^{(k)}] - \frac{(F_s)_j^{(k)}}{\rho_g} + \right. \\
 & \left. \frac{2(V_g)_j^{(k)}}{\Delta z} [\xi_{g,0} - (\xi_g)_j^{(k)}] [1 + (V_g)_j^{(k)}] \right\}
 \end{aligned}$$

A equações: (1) a (4) são insuficiente para dar uma resposta específica do problema. Sendo necessário complementar com as seguintes equações:

$$F_s = \frac{(\rho_s - \rho_g) g \varepsilon_g (1 - \varepsilon_s)^{(1-n)} (v_g - v_s)}{v_t} \quad (11)$$

$$v_t = \left(\frac{\rho_s - \rho_g}{\rho_s} \right) g \tau \quad ; \quad \tau = \frac{d_p^2 \rho_s}{k \mu_g} \quad (12)$$

3 Metodologia numérica

O sistema analisado consiste das equações fundamentais de balanço de massa para as fases gasosa e sólida, como também das equações de balanços de momento para as fases gasosas e sólidas e uma equação para a pressão obtido através da soma das equações de balanço de momento das fases gasosas e sólidas. Os conjuntos de equações desenvolvidos formam um sistema de equações parciais (EDPs) unidimensionais. O sistema de EDPs foi resolvido com a implementação do método das diferenças finitas implícito (MDFI) usando o esquema de Crank-Nicolson.

A partir das Equações (6) a (12), const constrói-se o SEA com equações em função de (k+1) e (k). O SEA foi resolvido com a implementação do método Rang Kutta Gil.

3 Resultados e discussões

Os parâmetros utilizados para a realização da simulação estão expressos abaixo:

Parâmetros	Unidade
$\rho_s = 1,21$	$kg.m^{-3}$
$\rho_g = 1150$	$kg.m^{-3}$
$\mu_g = 1,8 \times 10^{-5}$	$Pa.s$
$g = 9,8$	$m.s^{-2}$
$d_g = 500$	μm
$n = 1,37$	-
$k = 0,8$	-
$\Delta t = 10^{-2}$	s

Figura - 1: Perfis da Fração volumétrica da fase gasosa na saída do gaseificador de leito fluidizado em contracorrente com comprimento de 1m

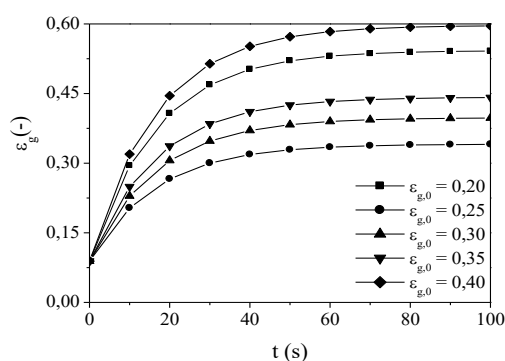
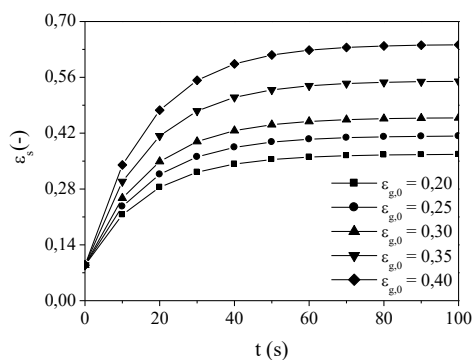


Figura - 2: Perfis da Fração volumétrica da fase sólida na saída do gaseificador de leito fluidizado em contracorrente com comprimento de 1m



As figuras 1 e 2 mostram a evolução dinâmica das frações volumétricas ξ_g e ξ_s em $z=H$. Observa-se que houve um aumento destas frações com o aumento do parâmetro $\xi_{g,0}$ na entrada do sistema. As frações volumétricas são vão encontrar um estado estacionário em torno de $t = 100$. As duas frações apresentaram um resultado bastante parecidos.

Figura - 3: Perfis da velocidade superficial da fase gasosa na saída do gaseificador de leito fluidizado borbulhante em contracorrente com comprimento de 1m

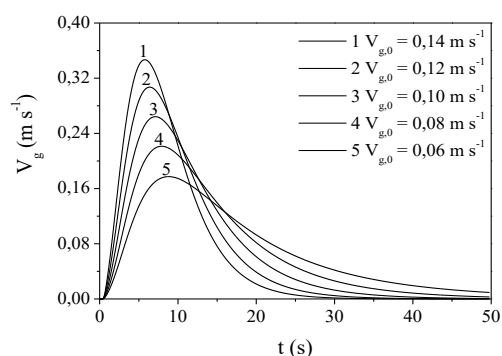
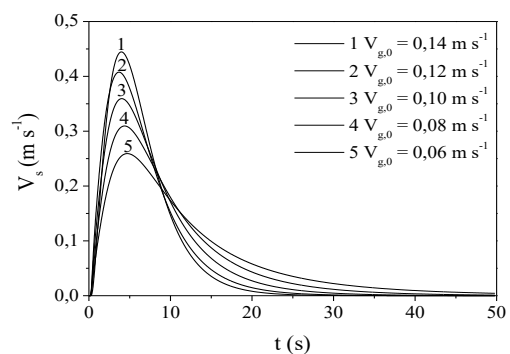
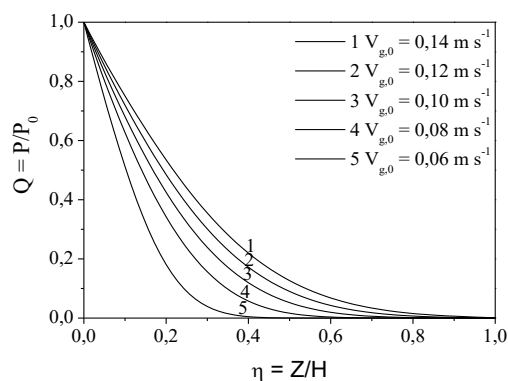


Figura - 4: Perfis da velocidade superficial da fase sólida na saída do gaseificador de leito fluidizado borbulhante em contracorrente com comprimento de 1m



As figuras 3 e 4 mostram a evolução dinâmica das frações dinâmicas das velocidades das fases gasosa e sólida V_g e V_s em $z=H$. Os gráficos mostram que tais frações também sofreram um aumento substancial com o aumento da variável $V_{g,0}$ de entrada, porém até os 5s a 8s na fração V_g e nos 4s a 5s na fração V_s houve uma queda até zero. Pode-se observar também que com o aumento da variável de entrada $V_{g,0}$ a queda das frações V_g e V_s foi mais rápida.

Figura - 5: Perfis da queda de pressão no gaseificador de leito fluidizado borbulhante em contracorrente com comprimento de 1m



A figura 5 apresenta o campo de pressão ao longo da região de fluidização. Observa-se o efeito de velocidade $V_{g,0}$ de entrada sobre a pressão no interior do LF. Mostrando no gráfico que a velocidade se apresentou proporcional ao aumento de pressão até zerar.

4 Conclusão

Esse trabalho pode-se entender como funciona um gaseificador de leito fluidizado, compreendendo suas vantagens a fim de desenvolver uma análise da sensibilidade das variáveis $\xi_g, \xi_s, V_g, V_s, p$ para a região específica de fluidização. Foi desenvolvida uma modelagem da qual foi empregada variáveis de entrada $\xi_{g,0}$ e $V_{g,0}$ mostrando sua influência sobre o processo gás-sólido a fim de ser consideradas no controle no processo desse equipamento. E não fica restrito o uso apenas dessas variáveis de entrada, as outras variáveis $\xi_{s,0}$ e $V_{s,0}$ também podem ser testadas.

5 Agradecimentos

Os autores deste artigo gostariam de agradecer ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro dado. (Processo 48354 / 2010 / Projeto / Título: Análise Fluidodinâmica da Região de Gaseificação de um Gaseificador de Leito Fluidizado. / Edital CNPq 15 / 2010 – Universal).

6 Nomenclatura

D_p - Diâmetro das partículas, mFs - Força de interação entre as fases gasosa e sólida por unidade de volume, kg s⁻² m⁻²

g - Aceleração da gravidade, m s⁻²

H - Comprimento da zona de fluidização, m

k - Constante da Equação (9)

n - Constante da Equação (10)

P - Pressão, Pa

P_0 - Pressão inicial, Pa

t - Coordenada temporal, s

V_g - Velocidade da fase gasosa, m s⁻¹

$V_{g,0}$ - Velocidade da fase gasosa inicial, m s⁻¹

V_s - Velocidade da fase sólida, m s⁻¹

V_t - Velocidade terminal da partícula dolíquido, m s⁻¹

z - Coordenada espacial, m

Letras Gregas

ε_g - Fração volumétrica da fase gasosa

$\varepsilon_{g,0}$ - Fração volumétrica da fase gasosa inicial

ε_s - Fração volumétrica da fase sólida

μ_g - Coeficiente de viscosidade da fase gasosa, Pa s

ρ_g - Densidade da fase gasosa, kg m⁻³

ρ_s - Densidade da fase sólida, kg m⁻³

τ - Fator de relaxação ($0 \leq \tau \leq 1$) para a fase gasosa, s

Q - Pressão, adimensionalizada

Δt - Passo de tempo, s

ζ - Comprimento da zona de fluidização, adimensionalizado

Referências

- [1] NEIVA, A.C.B. Estudo de alimentadores de Bagaço Dissertação de Cana para Reatores Atmosféricos, de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. Campinas, 1998.
- [2] SÁNCHEZ, C.G. Estudo da volatilização e da gaseificação de biomassa em leito fluidizado, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. Campinas, 1994.

- [3] ROSAL, A.G.C. Modelagem e simulação de um gaseificador de biomassa em leito fluidizado borbulhante para produção de energia, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE. Recife, 2008.
- [4] Prof. Dr. Marcello Nitz e Prof. Dr. Roberto Guardani Fluidização Gás-Sólido – Fundamentos e Avanços Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia e Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica da USP
- [5] Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável / organização BNDES e CGEE. – Rio de Janeiro: BNDES, 2008.
- [6] Prof. GUALBERTO, L. Comparação entre tecnologias de gaseificação de biomassa existentes no Brasil e no exterior e formação de recursos humanos na região norte. Cidade Universitária - São Paulo
- [7] NETO, V.C Análise da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural. Dissertação de Mestrado/ CPPE – UFRJ, 2001.
- [8] COELHO, ST., MARTINS, O.S., SANTOS, S.M.A. Estado da arte da gaseificação. CENBIO, 2002.
- [9] ARVELAKIS, P.; VOURLIOTIS, E.; KARAS E.; G. KOUKIOS, G., (2001), "Effect of leaching on the ash behavior of wheat straw and olive residue during fluidized bed combustion". Biomass and Bioenergy, v.26, p459-470.

Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada

Volume 2 – Número 1 – Outubro 2016

TRABALHOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – 2010-2011

Influência de aditivo retardador de pega na reologia de pasta de gesso

Debora Queiroz **120**

Análise da Eficácia de Materiais de Proteção Superficial para Estruturas de Concreto Ambientes contaminados por Íons Cloreto

Diego Albuquerque – E.C.B. Monteiro **127**

Avaliação do Resíduo da Construção e Demolição (RCD) em Solo-Cimento

Fernanda Bezerra – K.P.V. Lafayette **134**

Benchmarking em empresas de construção civil: identificação das melhores práticas

FKG Andrade – A.C. Lordsleem **140**

Análise Comparativa do desempenho de concretos com adições minerais quanto à corrosão de armaduras por íons cloretos

Hugo Pinheiro – E.C.B. Monteiro **150**

Estudos de Eventos Extremos de Chuva na Bacia Hidrográfica do Rio Una

Regina Oliveira – S.R. Silva **156**

Recuperação de Imagens baseadas na textura

Bruno Yamashita – Bruno Torres Fernandes **161**

Comparativo dos benefícios das Redes Sociais para a educação empreendedora com base em estudo qualitativo com empreendedores locais

J.A. Cavalcanti – G.G. Cruz Neto Bruno **169**

Estudo Comparativo de Algoritmos de RWA para Redes Ópticas Translúcidas

Jamerson Santan – H.A. Pereira – Daniel Chaves **180**

Uma investigação do problema de elaboração de grade horária (timetabling problem)	188
<i>Luís Felipe Verçosa – Eliane Loiola</i>	
Alocação de Comprimentos de onda em Redes Ópticas Translúcidas utilizando Computação Evolucionária	198
<i>Rodrigo Silva – Carmelo Bastos Filho</i>	
Códigos Corretores de Erro Aplicados a Redes de Sensores sem Fio	206
<i>Rodrigo Donato – Daniel Cunha</i>	
Algoritmo de Posicionamento de Regeneradores e Comprimentos de onda em Redes Ópticas	211
<i>Rodrigo Oliveira – Carmelo Bastos Filho</i>	
Sistema para melhoria na temporização de semáforos de trânsito com temporização para pedestres	218
<i>Willamos Silva – Sergio Campello</i>	
Caracterização do EDFA através do Ganho por Reflectometria Óptica	222
<i>Eliei Cipriano – J.F. Nascimento Rodrigo Silva</i>	
Estudos Empíricos Aplicados ao Management Function Deployment (MFD)	226
<i>Humberto Cunha – L.D. Coutinho – B.C.G Aguiar – D.S. Silveira G.H.P. Carvalho</i>	
Otimização Dinâmica de uma Planta de Gaseificação para Geração de Combustível	234
<i>Fernanda Silva – J.D. Silva Eliei Cipriano</i>	
Sistema de Controle de Vazão de Líquidos para Aplicações em Medições de Reações Biológica	243
<i>G. Cavalcanti – R.M. Oliveira Fernanda Silva</i>	

Influência de aditivo retardador de pega na reologia de pasta de gesso

Queiroz, D. M. N.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
deborahnqueiroz@gmail.com

Resumo *Devido às suas propriedades e ao baixo custo, o gesso tem se tornado muito interessante para o revestimento interno de paredes. Sua utilização principal, no Brasil, está voltada para a execução de painéis pré-moldados para divisórias, forros e molduras. No entanto, assim como outros materiais de construção, o gesso é um grande gerador de resíduos. A quantidade expressiva desses resíduos e sua destinação inadequada causam grandes impactos ambientais, econômicos e sociais. Com isso, torna-se necessária a busca por soluções que resolvam esses problemas. Objetiva-se, com esta pesquisa, estudar o comportamento reológico do gesso sob a influência de aditivo retardador de pega. Para isso serão feitos ensaios de squeeze flow. O resultado esperado com a adição do retardador de pega – bórax, é o possível aumento do tempo útil de aplicação do revestimento, diminuindo a geração de resíduos..*

Abstract *Due to its properties and low cost, the plaster has become very interesting for covering walls. However, like other construction materials, gypsum is a major generator of waste. A significant number of improper waste disposal cause great environmental, economic and social impacts. Thus, it becomes necessary to search for solutions that solve those problems. The aim of this research is to study the rheological behavior of the plaster under the influence of additive time retardant. For this, test will be made using squeeze flow. The expected outcome with the addition of retarder - borax, is the possible increase in the time of application of the coating, reducing waste generation.*

1 Introdução

O gesso era usado como material de construção desde o tempo dos egípcios, em ornamentação nas paredes interiores de pirâmides, assim como na elaboração de afrescos em igrejas e capelas no período românico. [1]

No Brasil, atualmente, a maior parte do gesso ainda é empregada na construção civil, seja para fundição – na fabricação de pré-moldados, placas, blocos e chapas de gesso – ou para revestimento – em paredes e tetos.

1.1 Justificativa

Na indústria da construção civil a utilização do gesso só tende a aumentar, pois se observa uma grande produtividade, e apesar de todo o desperdício, ainda é um revestimento de baixo custo. O custo poderia ser reduzido ainda mais, caso não houvesse a geração de tanto resíduo como é apresentado no cenário atual.

Como muitas empresas, que utilizam o gesso para o revestimento interno de paredes, não fornecem treinamento adequado para sua mão-de-obra a probabilidade de geração de resíduos é muito grande. Com a adição do bórax pode-se retardar a pega do gesso, aumentando o seu tempo de trabalhabilidade e tendo uma possível diminuição dos resíduos gerados.

1.2 Justificativa

Este projeto de pesquisa tem como objetivo geral estudar a influência de aditivo retardador de pega na reologia da pasta de gesso visando diminuir a geração de resíduos.

Para que o objetivo geral deste projeto seja atingido, os seguintes objetivos específicos são visados:

- realizar ensaios de squeeze flow na pasta de gesso com e sem adição do retardador de pega - bórax;
- estudar a influência do retardador no tempo de pega da pasta do gesso.

2 Introdução

O gesso é um aglomerante produzido a partir da gipsita, composto basicamente de sulfato de cálcio diidratado. O processo industrial para a formação do gesso se dá pela calcinação dos fragmentos da gipsita num forno rotativo a cerca de 160°C. Neste processo o material perde água, formando assim o sulfato de cálcio semihidratado. Uma vez calcinado, o material é moído, formando o característico pó branco. [2]

O minério da gipsita se origina em bacias sedimentares. No território brasileiro os principais depósitos de gipsita ocorrem associados às bacias sedimentares conhecidas como Bacia Sedimentar do Araripe (Piauí, Ceará e Pernambuco); Bacia Potiguar (Rio Grande do Norte); Bacia do Recôncavo (Bahia); Bacia do Parnaíba (Maranhão e Tocantins) e Bacia Amazônica (Amazonas e Pará). Do ponto de vista econômico, os mais importantes depósitos de gipsita estão localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, sobretudo em Pernambuco. [3]

Devido à sua ótima qualidade e baixo custo, o gesso vem sendo cada vez mais utilizado na construção civil. Verifica-se, também, a maior produtividade já que possui um rápido processo de aplicação, e um bom acabamento final, podendo ser aplicada a pintura sem ser necessária a aplicação da massa corrida. Porém, por conta da alta velocidade de endurecimento, é produzida uma grande quantidade de resíduos. Estima-se que o índice de desperdício seja equivalente a 45% do gesso utilizado. [4]

O desperdício causa tanto problemas econômicos quanto ambientais, devido ao grande custo para a destinação correta dos resíduos.

A resolução Nº 307 do CONAMA (2002) definiu diretrizes para a gestão de resíduos da construção civil e classificou o gesso como um resíduo de classe C, ou seja, não existem tecnologias economicamente viáveis para sua reciclagem ou reutilização. Em maio de 2011, a resolução Nº 431 do CONAMA (2011) definiu o gesso como classe B, que o torna reciclável. No entanto, esses resíduos não podem ser misturados a outros materiais, para evitar uma possível contaminação. [5]

A redução do desperdício deve ser prioridade da indústria, pois o custo de material perdido junto com a geração de resíduos pode afetar a competitividade do material.

Visando aumentar o tempo de pega do material é comum a utilização de grandes teores de água, porém é formada uma pasta muito fluida para a aplicação. Uma solução encontrada foi a adição de retardadores de pega, que aumentam o tempo útil do gesso, mas corre o risco de reduzir demasiadamente a sua consistência inicial. Será realizado um estudo do comportamento reológico do gesso juntamente com um aditivo retardador de pega.

Usou-se na pesquisa o bórax, como aditivo retardador de tempo de pega. Ele tem como fórmula química $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, ele reage com os íons cálcio para formar borato de cálcio insolúvel. Este borato deposita-se na superfície dos cristais, formando uma camada insolúvel em sua volta, a qual interfere em seu crescimento, retardando assim a pega do gesso (PAPO, 1989).

A forma de atuação do bórax no tempo de pega das pastas de gesso, segundo os diferentes pesquisadores, é direta sobre o cristal que se está formando no momento da hidratação; o bórax atrasa a formação de cristais, atrasando a precipitação e, portanto prolongando o tempo de pega. [6]

3 Metodologia

Para a realização do estudo foi coletada uma amostra de gesso natural para revestimento e uma amostra do bórax, aditivo retardador de pega, adicionado nas proporções 0,4%, 0,6% e 0,8%. A dosagem do bórax foi determinada a partir do estudo de Costes (1990), que afirma ser um dos retardadores de pega mais empregados na França, com uma dosagem de 20g/L de água, equivalente a 1%.

Inicialmente foi determinada a relação água/gesso pelo ensaio de consistência segundo a norma DIN 1168 (1975). Pesou-se 100g de água num béquer e foi adicionando gesso até saturar. Anotou-se a quantidade de gesso utilizada, conseguindo obter a relação água/gesso de 0,72.

O procedimento de mistura do gesso foi feito de acordo com a norma NBR 12128 (ABNT, 1991). Porém o processo de homogeneização da pasta foi realizado manualmente, visando atingir a frequência de uma volta por segundo.

Os ensaios de caracterização realizados foram:

- tempo de pega para a pasta de gesso com e sem aditivo - DIN 1168 (1975);
- massa unitária e granulometria para o gesso em pó - NBR 12127 (ABNT, 1991);
- dureza e resistência à compressão para a pasta de gesso com e sem aditivo - NBR 12129 (ABNT, 1991).

Posteriormente iniciaram-se os ensaios de squeeze flow para a pasta de gesso com e sem aditivo, que consiste na compressão de uma amostra cilíndrica entre duas placas paralelas. O método é simples e versátil, sendo capaz de avaliar com precisão materiais em ampla faixa de consistência e em velocidade e grau de deformação variável. O ensaio pode ser realizado com controle de força ou por deslocamento. Como base, foi tomado o estudo de AGOPYAN et al. (2005). [7]

4 Resultado

4.1 Estilos

O ensaio de tempo de pega foi realizado de acordo com a norma DIN 1168 (1975). Com a pasta do gesso, fez-se um disco com diâmetro de, aproximadamente, 10 cm (Foto 1). O início do tempo de pega deu-se, quando, ao cortar o disco com uma espátula, ele não voltou a se unir, e o fim de pega, ao pressionar o gesso, a impressão digital não foi deixada. Os resultados estão apresentados no Quadro 2.



Foto 1 – Pasta de gesso com diâmetro aproximado de 10 cm

A amostra ensaiada de gesso puro, não apresentou um fim de pega maior que 45 minutos, como pede a norma NBR 13207 (ABNT, 1994), com a adição do bórax tem um aumento considerável com relação a essa propriedade.

Quadro 2 – Tempo de pega do gesso com e sem aditivo retardador de pega

Tempo de Pega	Gesso Puro	Gesso + 0,4% de bórax	Gesso + 0,6% de bórax	Gesso + 0,8% de bórax
Início de pega	16min45seg	27min	37min30seg	123min30seg
Fim de pega	41min	50min15seg	70min	187min40seg

De acordo com os resultados da tabela, é possível notar que, como o previsto, os tempos de pega vão aumentando na medida que a dosagem do bórax é aumentada.

4.2 Massa unitária e módulo de finura

Os ensaios de massa unitária e módulo de finura seguiram as recomendações da NBR 12127 (ABNT, 1991). [8]

O gesso apresentou massa unitária de 669,8 Kg/cm³.

Para o ensaio de granulometria utilizou-se o seguinte procedimento:

- pesar 100g do pó do gesso, passar pela peneira de 0,840mm e anotar a quantidade que ficou retida;

- colocar o material passante pela peneira de 0,840mm na peneira de 0,420mm, realizar o peneiramento e anotar a quantidade que ficou retida;

- pesar 50g do pó que passou pela peneira de 0,420mm, transferir para a peneira de 0,210mm, proceder ao peneiramento e anotar a quantidade que ficou retida;

- transferir o material que passou pela peneira 0,210mm para a peneira de 0,105mm e, novamente, proceder ao peneiramento, anotando a quantidade que ficar retida.

O módulo de finura do gesso foi determinado como 0,04 caracterizando o material como gesso fino de acordo com a norma NBR 13207 [9] (ABNT 1994) que caracteriza gesso grosso aqueles que possuem módulo de finura maior que 1,10.



Foto 2 – Aparelho para a determinação de massa unitária



Foto 3 – Peneiras usadas para o ensaio de módulo de finura

Quadro 3 – Quantidade de gesso retido em cada peneira

Peneira (mm)	Quantidade de gesso retido (g)
0,840	0,35
0,420	0,40
0,210	0,35
0,105	1,34

4.3 Dureza e resistência à compressão

Os corpos-de-prova foram moldados de acordo com a norma NBR 12129 (ABNT, 1991) [10], num molde triplo (Foto 4), moldando três corpos de prova simultaneamente. Depois de prontos e secos foram realizados os ensaios de resistência à compressão (Foto 6) e dureza.

Para determinação da dureza foi utilizado o durômetro SHORE C (Foto 4) Para a determinação da resistência à compressão foi utilizada uma máquina universal de ensaios da marca Emic, modelo DL 30.000. Os resultados estão apresentados no Quadro 3.

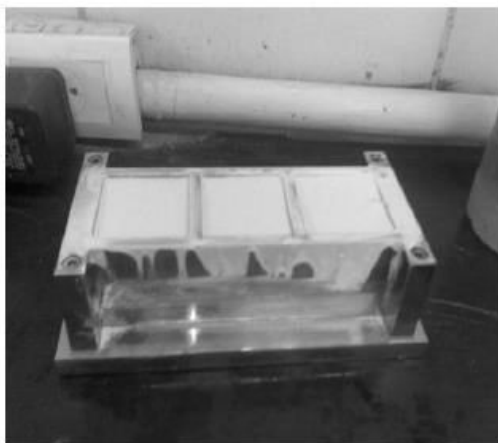


Foto 4 - Preparação dos corpos de prova



Foto 5 – Durômetro SHORE C



Foto 6 - Ensaio de resistência à compressão

Quadro 4 – Dureza e resistência à compressão de corpos de prova de gesso com e sem aditivo retardador de pega

Propriedades	Unidade	Gesso Puro	Gesso + 0,4% bórax	Gesso + 0,6% bórax	Gesso + 0,8% bórax
Dureza	U.S.C.	94,3	90,1	88,6	88,7
Resistência à compressão	Mpa	3,2	3,18	3,12	3,05

Todos os corpos de prova apresentaram dureza acima do que é pedido pela NBR 13207 (1994). Porém, todos, apresentaram uma baixa resistência à compressão. Como pode ser observado no Quadro 4. De acordo com os resultados tanto a dureza quanto a resistência à compressão, mesmo com a adição do bórax, não sofreram grandes variações, apresentando pequenas diferenças entre si.

4.4 Squeeze-flow

Para a realização do ensaio foram moldados corpos de prova (Foto 7) com diâmetro de 100 mm e com espessura de 10 mm. A velocidade de descida da placa superior foi de 0,1 mm/s, com deformação máxima de 9 mm e força máxima de 1000 N.

Os resultados estão apresentados nos Gráficos 1, 2, 3 e 4.

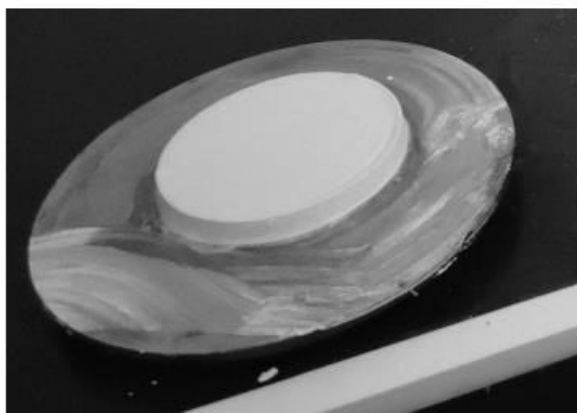


Foto 7 – Corpo de prova

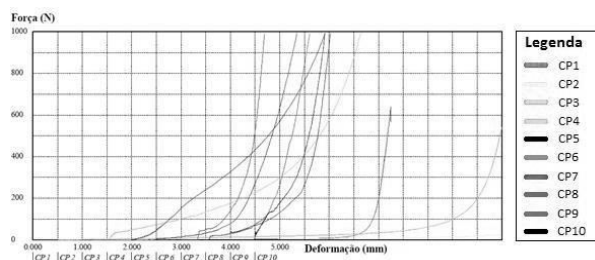


Gráfico 1 – Gráfico do Squeeze-flow do gesso puro

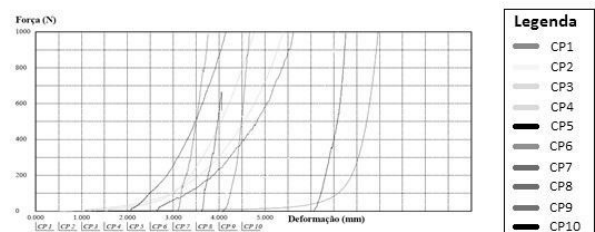


Foto 8 – Gráfico do Squeeze-flow do gesso + 0,4% de borax

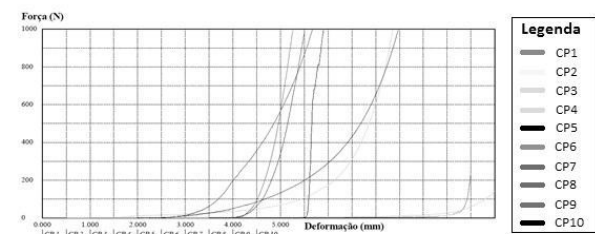


Foto 9 – Gráfico do Squeeze-flow do gesso + 0,6% de borax

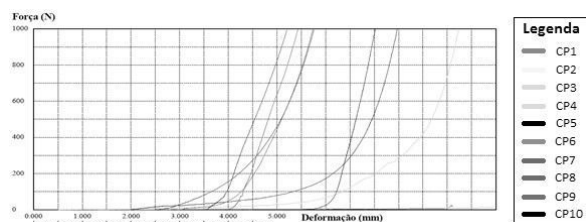


Foto 10 – Gráfico do Squeeze-flow do gesso + 0,8% de borax

De acordo com os Gráficos 1, 2, 3 e 4 pode-se observar que os primeiros corpos de prova apresentam deformação elástica linear e está relacionado à tensão de escoamento do material. Logo em seguida começam a sofrer deslocamentos intermediários. A compressão resulta em deformação radial elongacional, e de cisalhamento, superando as forças que mantinham o material sob comportamento elástico e, assim, o mesmo flui por deformação plástica.

Nesta etapa o material é capaz de sofrer grandes deformações sem aumento significativo da força, necessária para o deslocamento, que é um comportamento que favorece a produtividade na aplicação.

No terceiro estágio, em grandes deformações, ocorre um aumento expressivo (exponencial) da carga necessária para prosseguir a deformação do material. A aproximação das partículas gera forças restritivas ao fluxo, devido à maior interação por entrelaçamento dos cristais de hidratação do gesso. Este terceiro estágio é caracterizado por um comportamento em que procedimentos de aplicação e acabamento do material tendem a ser dificultados, devido às altas cargas envolvidas.

É importante salientar que cada curva apresentada nos Gráficos 1, 2, 3 e 4 tem seu início indicado pela sigla CP1, CP2, etc. Como exemplo, no Gráfico 4, o CP1 inicia a deformação no zero, o CP2 inicia na deformação 500 mm, o CP3 inicia na deformação 1000mm, e assim sucessivamente.

Ao verificar os corpos de prova de cada gráfico que correspondem ao tempo de moldagem de aproximadamente 20 minutos, ao alcançarem 100 N, apresentam as seguintes deformações:

gesso puro – 0,75 mm;

- gesso com adição de 0,4% de bórax – 1,5 mm;

- gesso com adição de 0,6% de bórax – 8,5 mm;

e

- gesso com adição de 0,8% de bórax – ultrapassou os 9 mm, dados como deformação máxima.

Pode-se concluir que quanto maior a quantidade de aditivo adicionado, maior a deformação aplicada, ou seja, com adição de 0,6 % de bórax, a pasta de gesso, aos 20 minutos ainda continua fresca, sendo passível de utilização na aplicação de revestimento interno de parede.

5 Conclusões

A adição do bórax na pasta de gesso pode ter seu tempo de pega maximizado e suas características mecânicas preservadas a partir de 0,4%. No entanto, o estudo reológico feito por meio do ensaio de squeeze flow indica que 0,6% seria um bom indicativo para maximizar o tempo de utilização, uma vez que, aos 20 minutos a pasta ainda apresentou uma deformação de 8,5 mm, ou seja, ainda estava em estado fluido.

A adição do bórax como retardador de pega pode vir a diminuir os custos e o resíduo gerado durante a aplicação do revestimento interno de parede, minimizando, também gastos com transporte e deposição do mesmo, ajudando a diminuir o impacto ambiental.

Referências

- [1] Disponível em: <itaucultural.org.br/aplicexternas/enciclopedia_ic/index.cfm?fuseaction=termos_texto&cd_verbete=54>. Acesso em: 21/ 07/ 2011.
- [2] Balanço Mineral Brasileiro 2011
- [3] CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V; FLORINDO, M. C. O gesso como material de construção – composição química (1ª parte). In: São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Divisão de Edificações. São Paulo, 1998. P.53-56.
- [4] AGOPYAN, V *et all*. Alternativas para a redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras. São Paulo, FINEP, ITQC, Escola Politécnica da USP, 1998.
- [5] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes e critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção. Diário

Oficial da República Federativa do Brasil.

- [6] HINCAPIE, A.M.; CINCOTTO, M.A. Seleção de substâncias retardadoras do tempo de pega do gesso de construção. São paulo: escola Politécnica - USP, 1997 (Boletim Técnico).
- [7] F. A. CARDOSO, A. K. AGOPYAN, C. CARBONE*, V. M. JOHN, R. G. PILEGGI Caracterização Reológica de Revestimentos à Base de gesso por Squeeze-flow.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gesso para construção civil: determinação das propriedades físicas do pó. - NBR 12127/MB 3468. Rio de Janeiro,1991.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gesso para construção civil: especificação. - NBR 13207. Rio de Janeiro, 1994.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gesso para construção civil: determinação das propriedades mecânicas. - NBR 12129/MB 3470. Rio de Janeiro, 1991.

Análise da Eficácia de Materiais de Proteção Superficial para Estruturas de Concreto Ambientes contaminados por Íons Cloreto

Albuquerque, D. V. S.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
diegopeb@hotmail.com

Monteiro E. C. B.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
nana.monteiro@uol.com.br

Resumo *Este trabalho tem como objetivo analisar a eficácia do uso dos variados tipos de proteção superficial que existem no mercado aplicado a corpos de prova. Essa avaliação se deu de forma comparativa através da realização de ensaios de absorção capilar, absorção por imersão e ensaio acelerado de corrosão. Para cada sistema de proteção superficial foram moldados dois corpos de prova, variando a relação água/cimento 0.4 e 0.7. Ao longo dos ensaios de absorção capilar e absorção por imersão, as grandezas medidas foram: massa dos corpos de prova (M) e Variação da massa (Mv). O método adotado permitiu uma avaliação de forma comparativa quanto à capacidade de absorção de líquidos e avaliação da corrosão através, respectivamente, dos ensaios de absorção e de corrosão acelerada. Diante disso, conclui-se que os corpos de prova com hidrofugante, para ambas as relações água/cimento, foram os que apresentaram melhor resultado no geral.*

Abstract *This work aims to analyze the effectiveness of using several types of surface protection that exist in the market applied to the body-of-test. This evaluation took place in a comparative way through the assays of capillary absorption, absorption by immersion and accelerated test of corrosion. For each series of assays body-of-test were cast two body-of-test, varying the water / cement ratio 0.4 and 0.7. Throughout the assays of hair absorption and absorption for immersion, the measured largenesses had been: mass of the body-of-test (m) and Variation of the mass (Mv). The method adopted allowed a evaluation of comparative form for their ability to absorb liquids and evaluation of corrosion through, respectively, assays absorption and accelerated corrosion. Therefore, we conclude that the body-of-test with water repellent, for both relationships water / cement ratio, presented the best result overall.*

1 Introdução

Atualmente são incontáveis os casos nos quais as estruturas de concreto armado sofrem algum tipo de problemas, podendo ser estéticos, estruturais ou funcionais. Diante disso, a comunidade técnico-científica ao longo da última década vem realizando maneiras de combatê-los através de estudos e vastas discussões sobre a durabilidade das estruturas de concreto, o que ocasionou em significativos avanços com relação a esse assunto. Assim, as estruturas devem, além de suportar os esforços que agem sobre ela, serem capazes de resistir a agentes agressivos presentes no meio ambiente onde elas foram construídas, pois estes são os principais causadores de patologias.

Um das patologias mais comuns encontradas em estruturas de concreto armado é a corrosão de armaduras. Andrade (1997) em levantamento realizado no estado de Pernambuco constatou que a corrosão das armaduras é responsável pela maior parte da degradação das estruturas em concreto, sendo responsável por 62% dos casos de manifestações patológicas registradas nas edificações.

A corrosão das armaduras é uma das manifestações patológicas de maior gravidade nas obras civis no cenário mundial, sendo sua importância justificada pelo comprometimento da segurança estrutural que o fenômeno envolve em estágios avançados, pelos altos custos de recuperação e perdas, além da incidência/reincidência do fenômeno que é relativamente alta (CASCUDO, 2000).

O alto custo para a recuperação desse tipo de patologia, atrelado aos potenciais riscos à vida dos seres humanos, mostra a importância e a necessidade do desenvolvimento de materiais e técnicas que protejam as estruturas da contaminação por agentes agressivos oriundos do meio ambiente.

Diversas pesquisas e trabalhos, realizados no Brasil e no exterior, relatam que a principal causa da corrosão é a penetração de cloretos, entre eles Helene (1986), Carmona Filho e Morega (1988), Dal Molin (1988), Aranha (1994), Andrad e (1997), e outros pesquisadores que contribuíram significativamente nesse sentido.

O Brasil, cuja costa marinha possui cerca de 7 491km, tem sua grande parcela da população situada no litoral, e essa acaba sofrendo com a grande ação dos íons cloretos provenientes da névoa salina nas estruturas de concreto expostas a mesma. Isso fez com que crescesse o desenvolvimento de produtos a fim de evitar a penetração desses agentes, entre os quais está o tratamento superficial do concreto, que será o objeto de estudo desta dissertação.

A proteção superficial proveniente da utilização dos diversos tipos de materiais se mostrará eficaz através de avaliação dos mesmos para os diversos tipos de situações existentes. Isso fará com que se elabore um ferramental necessário para a eficácia desses materiais para determinadas necessidades, e que assim preencha algumas lacunas que foram deixadas pelos trabalhos.

2 Procedimento Experimental

2.1 Estilos

Foram moldados corpos de prova, prismáticos e cilíndricos com os seguintes materiais: Cimento Portland (CP II Z-32), areia oriunda da região e os materiais de proteção, que são: hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros.

Tabela 1. Denominação das séries para o ensaio de absorção por imersão.

Série	Produto	A/C	Cura	Traço
R1	Referência	0,4	7 dias	1:1,3
R2	Referência	0,7	7 dias	1:3
H1	Hidrofugante	0,4	7 dias	1:1,3
H2	Hidrofugante	0,7	7 dias	1:3
F1	Formador de película	0,4	7 dias	1:1,3
F2	Formador de película	0,7	7 dias	1:3
B1	Bloqueador de poros	0,4	7 dias	1:1,3
B2	Bloqueador de poros	0,7	7 dias	1:3

Tabela 2. Denominação das séries para o ensaio de absorção por capilaridade.

Série	Produto	A/C	Cura	Traço
R3	Referência	0,4	7 dias	1:1,3
R4	Referência	0,7	7 dias	1:3
H3	Hidrofugante	0,4	7 dias	1:1,3
H4	Hidrofugante	0,7	7 dias	1:3
F3	Formador de película	0,4	7 dias	1:1,3
F4	Formador de película	0,7	7 dias	1:3
B3	Bloqueador de poros	0,4	7 dias	1:1,3
B4	Bloqueador de poros	0,7	7 dias	1:3

Tabela 3. Denominação das séries para o ensaio de potencial de corrosão.

Série	Produto	A/C	Cura	Traço	Presença de íons cloreto
R5	Referência	0,4	7 dias	1:1,3	-
R6	Referência	0,4	7 dias	1:1,3	1%
R7	Referência	0,7	7 dias	1:3	-
R8	Referência	0,7	7 dias	1:3	1%
H5	Hidrofugant	0,4	7 dias	1:1,3	-
H6	Hidrofugant	0,4	7 dias	1:1,3	1%
H7	Hidrofugant	0,7	7 dias	1:3	-
H8	Hidrofugant	0,7	7 dias	1:3	1%
F5	Formador de película	0,4	7 dias	1:1,3	-
F6	Formador de película	0,4	7 dias	1:1,3	1%
F7	Formador de película	0,7	7 dias	1:3	-
F8	Formador de película	0,7	7 dias	1:3	1%
B5	Bloqueador de poros	0,4	7 dias	1:1,3	-
B6	Bloqueador de poros	0,4	7 dias	1:1,3	1%
B7	Bloqueador de poros	0,7	7 dias	1:3	-
B8	Bloqueador de poros	0,7	7 dias	1:3	1%

2.2 Absorção

2.2.1 Absorção por Imersão

Neste ensaio foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de argamassa de 50 mm de diâmetro e 100mm de altura, estes foram moldados de acordo com a NBR 7215/91. Os corpos-de-prova foram secos em estufa a 100°C até constância de massa e foram mantidos em ambiente de laboratório pelo período de 24 horas para esfriarem. Para este ensaio foram empregados 04 corpos-de-prova para cada material estudado. A variação de massa foi acompanhada durante o período de 30 dias, contados do início do período de imersão.



Figura 1. Ensaio de absorção por imersão.

2.2.2 Absorção por Imersão

Neste ensaio também foram utilizados corpos de prova cilíndricos de argamassa de 50 mm de diâmetro e 100mm de altura, estes foram moldados de acordo com a NBR 7215 [9]. Os corpos de prova foram secos em estufa a 100°C até constância de massa e foram mantidos em ambiente de laboratório pelo período de 24 horas para esfriarem. Os sistemas de proteção foram aplicados na face circular correspondente ao fundo da forma. Foram utilizados 04 corpos-de-prova para cada material estudado. A variação de massa foi acompanhada durante o período de 30 dias, contados do início do período de imersão.



Figura 2. Ensaio de absorção por capilaridade.

2.3 Absorção de Água

Foram confeccionados corpos-de-prova com dimensões 60 x 80 x 25 (mm), armados com duas barras de aço longitudinais de diâmetro 5,0 mm, 100m de comprimento e com cobrimento de 10 mm. As barras foram dimensionadas com um comprimento maior, de modo a ficar com a sua extremidade exposta para possibilitar a conexão elétrica das armaduras para monitoramento da corrosão.

Existem duas séries de corpos de prova: uma com substrato previamente contaminado por cloretos (1% em relação a massa de cimento) e outra de concreto sem adição prévia de cloretos. Ambas foram submetidas a semi-ciclos de secagem e umectação.

As metodologias que envolvem os ciclos de secagem e umectação ou contato com solução de NaCl, correspondem ao regime mais severo de penetração de cloretos (PAGE ET AL [13]). Os semi-ciclos caracterizam-se conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Etapas do ensaio cíclico.

Semi-ciclo	Condição	Duração
Secagem	Estufa a 50°C	5 dias
Umectação	Parcialmente submerso em solução com 3% de NaCl	2 dias

A medição das variáveis estudadas foi feita ao final de cada semi-ciclo. As medições foram realizadas durante 8 ciclos (secagem + umectação) completos.

1. Monitoramento e Avaliação da Corrosão

O Potencial de corrosão (E_{corr}) pode ser considerado um indicador de deterioração e avalia os aspectos termodinâmicos associados à corrosão. A norma ASTM C – 876 [12] associa uma probabilidade superior a 95 % de corrosão para valores de potenciais inferiores a -350 mV, para eletrodo de cobre/ sulfato de cobre (Tabela 5).

Tabela 5. Critérios de avaliação das medidas dos potenciais de corrosão de acordo com a ASTM C876.

Potencial de corrosão em relação ao eletrodo de referência de cobre-sulfato de cobre - CU/CUSO4 (mV)	Probabilidade de corrosão (%)
Mais positivo que -200	5
Mais negativo que -350	95
Entre -200 e -350	Incerta

3 Resultados e Discussões

3.1 Ensaios de absorção de água

3.1.1 Absorção por Imersão

As Figuras 3 e 4 mostram os resultados obtidos para os corpos de prova referência e os três produtos aplicados na superfície dos corpos de prova (Hidrofugante, Formador de película e Bloqueador de poros).

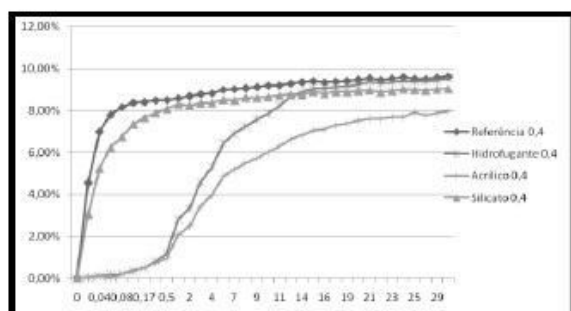


Figura 3. Comparação dos resultados da absorção por imersão (%) dos corpos de prova (Referência, Hidrofugante, Formador de película e Bloqueador de poros) com fator a/c 0,4.

Observa-se na Figura 3 que o produto Formador de Película (Acrílico 0,4) foi o que apresentou melhor resultado comparado com os outros produtos aplicados.

Logo o produto Hidrofugante foi o que apresentou o pior resultado comparado aos outros produtos ao fim do ensaio.

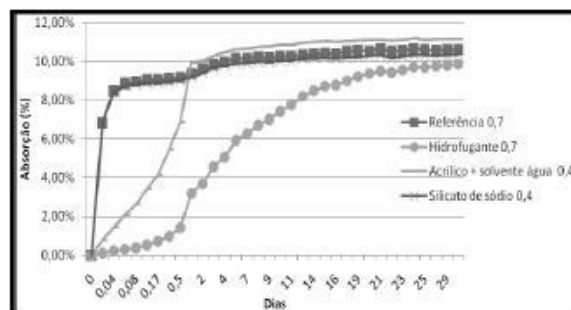


Figura 4. Comparação dos resultados da absorção por imersão (%) dos corpos de prova (Referência, Hidrofugante, Formador de película e Bloqueador de poros) com fator a/c 0,7.

A Figura 4 mostra que para o fator a/c 0,7 o produto que apresentou melhor resultado foi o Hidrofugante, retardando a elevada absorção de água por mais tempo, enquanto que o Formador de película apresentou o pior resultado entre os três produtos aplicados, bem como quando comparado ao de Referência.

3.1.2 Absorção por Capilaridade

As Figuras 5 e 6 mostram os resultados obtidos para os corpos de prova referência e os três produtos aplicados na superfície dos corpos de prova (Hidrofugante, Formador de película e Bloqueador de poros).

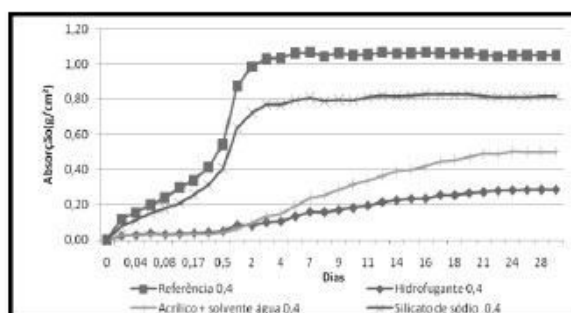


Figura 5. Comparação dos resultados da absorção por capilaridade (g/cm^2) para o referência e o Hidrofugante, Formador de película e Bloqueador de poros para o fator a/c 0,4.

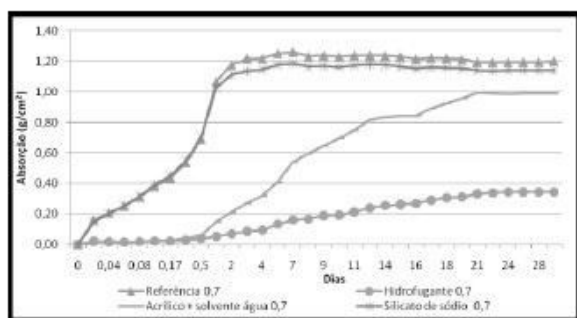


Figura 6. Comparação dos resultados da absorção por capilaridade (g/cm^2) para o referência e o Hidrofugante, Formador de película e Bloqueador de poros para o fator a/c 0,7.

Conforme pode se observar nas figuras acima, ambas as relações a/c analisadas mostram que o produto Hidrofugante apresentou o melhor desempenho, enquanto que o Bloqueador de poros foi o produto que apresentou pior desempenho.

3.1.3 Absortividade

As Figuras 7 e 8 se referem aos resultados obtidos para os corpos de prova referência e os três produtos aplicados na superfície dos corpos de prova (Hidrofugante, Formador de película e Bloqueador de poros).

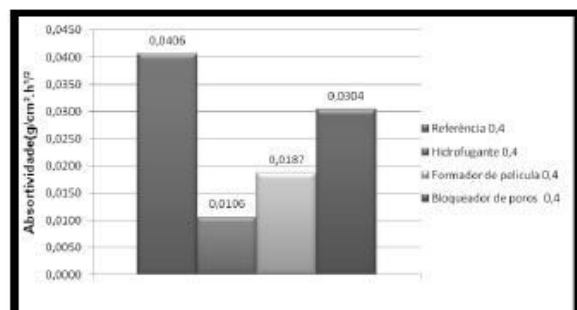


Figura 7. Comparação dos resultados da Absortividade ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$) para o Referência e o Hidrofugante, Formador de película e Bloqueador de poros para o fator a/c 0,4.

Observa-se na Figura 7 que o fator a/c 0,4 o produto Hidrofugante foi o que apresentou o melhor resultado entre todos os produtos aplicados, reduzindo significativamente a absorptividade, em torno de 74%, enquanto que o produto Formador de película e Bloqueador de poros atingiram taxas de redução de 54% e 25%, respectivamente.

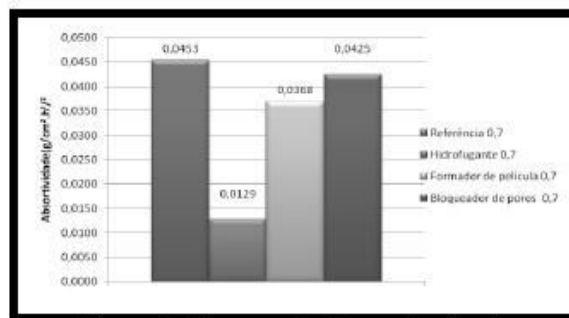


Figura 8. Comparação dos resultados da Absortividade ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$) para o Referência e o Hidrofugante, Formador de película e Bloqueador de poros para o fator a/c 0,7.

O mesmo ocorreu para o fator a/c 0,7, o produto que apresentou melhor resultado foi o Hidrofugante reduzindo a absorptividade, em torno de 72%, enquanto que o produto Formador de película e Bloqueador de poros atingiram taxas de redução de 19% e 6%, respectivamente.

De acordo com os dados obtidos, viu-se que o produto Hidrofugante teve o melhor desempenho, quanto à capacidade de redução da absorptividade, seguido pelo produto Formador de película, e por fim o produto Bloqueador de poros apresentou o pior desempenho.

3.2 Potencial de Corrosão

3.2.1 Corpos de Prova sem adição de cloretos

As Figuras 9 e 10 mostram aos resultados obtidos para os corpos de prova referência e os três produtos aplicados na superfície dos corpos de prova (Hidrofugante, Formador de película e Bloqueador de poros).

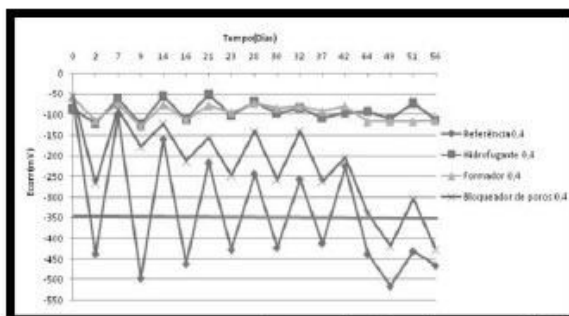


Figura 9. Comparação dos resultados de Potencial de corrosão (mV) para os corpos de prova Referência, Hidrofugante, Formador de película e o Bloqueador de poros, Fator a/c 0,4, sem adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

Conforme pode ser observado na Figura 9 para o fator a/c 0,4 os produtos Hidrofugante e Formador de película tiveram o melhor resultado, apresentando comportamentos semelhantes no que diz respeito ao potencial de corrosão. Já o Bloqueador de poros foi o que obteve o pior resultado, resultando na despassivação de suas armaduras ao final do 6º ciclo.

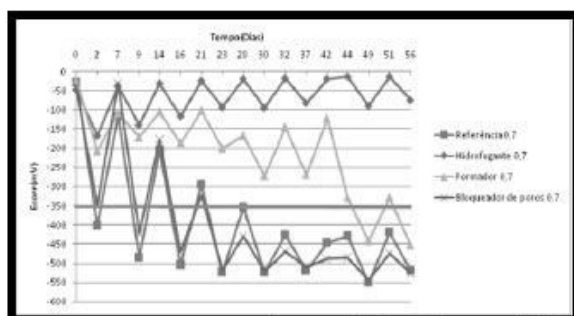


Figura 10. Comparação dos resultados de Potencial de corrosão (mV) para os corpos de prova Referência, Hidrofugante, Formador de película e o Bloqueador de poros, Fator a/c 0,7, sem adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

Para o fator a/c 0,7 o produto que apresentou melhor resultado também foi o Hidrofugante. O Formador de película que tinha apresentado bom resultado para o fator a/c 0,4, acabou apresentando maior amplitude nos valores de Ecorr para o fator a/c 0,7, vindo a despassivar suas armaduras ao fim do 7º ciclo. Já o Bloqueador de poros apresentou comportamento semelhante ao de Referência para o fator a/c 0,7, despassivando a armadura no 4º ciclo.

De acordo com os dados obtidos, viu-se que o produto Hidrofugante teve o melhor desempenho, quanto ao potencial de corrosão, seguido pelo produto Formador de película, e por fim o produto Bloqueador de poros apresentou o pior desempenho.

3.2.2 Corpos de Prova com adição de cloretos

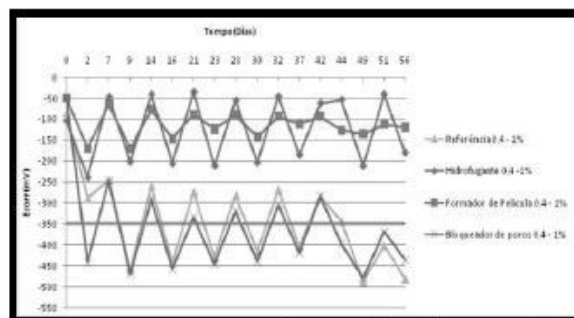


Figura 11. Comparação dos resultados de Potencial de corrosão (mV) para os corpos de prova Referência, Hidrofugante, Formador de película e o Bloqueador de poros, Fator a/c 0,4, com adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

Observa-se na Figura 11 que para o fator a/c 0,4 os produtos Hidrofugante e Formador de Película apresentaram melhor resultado no que diz respeito a restringir o acesso de água, evitando a corrosão das armaduras. O Bloqueador de poros foi o que apresentou o pior desempenho entre os três produtos.

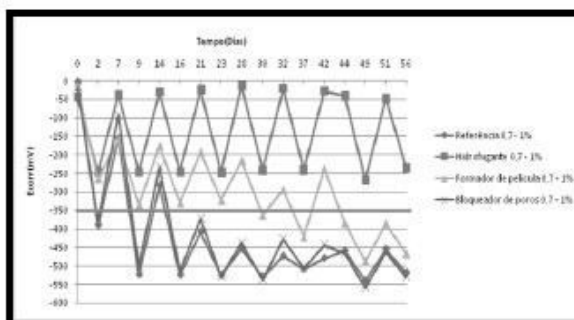


Figura 12. Comparação dos resultados de Potencial de corrosão (mV) para os corpos de prova Referência, Hidrofugante, Formador de película e o Bloqueador de poros, Fator a/c 0,7, com adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

Para o fator a/c 0,7 o produto que apresentou melhor resultado foi o Hidrofugante, este evitou a corrosão durante o período de realização do ensaio. O produto Formador de película conseguiu retardar o processo de corrosão, mas não evitou que a mesma acontecesse ao fim do 7º ciclo. O Bloqueador de poros também teve desempenho inferior ao restante dos materiais para esta relação água/cimento, apresentando valores de potencial de corrosão inferiores a -350mV logo no início do 1º ciclo.

De acordo com os dados obtidos, viu-se que o produto Hidrofugante teve o melhor desempenho, quanto ao potencial de corrosão, seguido pelo produto Formador de

película, e por fim o produto Bloqueador de poros apresentou o pior desempenho.

4 Conclusões

Considerando as condições de ensaios aqui apresentadas podemos concluir para os materiais estudados:

- A redução água/cimento teve como resultado melhorar o desempenho dos três tipos de produtos utilizados para a proteção superficial, quanto à absorção de água e conseqüentemente corrosão de armaduras por íons cloretos;
- Os corpos de prova confeccionados com o material hidrofugante apresentaram um desempenho comparativamente melhor que os confeccionados com os demais materiais quanto à absorção de água e conseqüentemente à corrosão por cloretos, principalmente para a relação água/cimento 0,4;
- Com a técnica utilizada, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de desempenho, quanto às ambientes contaminados por cloretos:

Hidrofugante > Formador de Película > Bloqueador de poros

Referências

- [1] ANDRADE, J. J. O. Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997
- [2] NINCE, A. A. Levantamento de Dados sobre a Deterioração de Estruturas na Região Centro-Oeste. Dissertação de Mestrado, Brasília, UnB, 1996
- [3] ALONSO, M. C. ; ANDRADE, C. Corrosion of steel reinforcement in carbonated mortar containing chloride. *Advanced Cement Research*, v.1, 1988.
- [4] MONTEIRO, E.C.B. Estudo da capacidade de proteção de alguns tipos de cimentos nacionais, em relação à corrosão de armaduras, sob a ação conjunta de CO₂ e íons cloretos. 1996. 138p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília
- [5] FIGUEIREDO, E. J. P. (1994). Avaliação do desempenho de revestimentos para proteção da armadura contra corrosão através de técnicas eletroquímicas – contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado. Tese Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 423p.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - NBR 9778. (1987) “Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica”. Rio de Janeiro.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

Avaliação do Resíduo da Construção e Demolição (RCD) em Solo-Cimento

Bezerra, F. T. C.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
fernandatayane@hotmail.com

Lafayette, K. P. V.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Autor2@meu-email

Resumo

O crescente desenvolvimento das atividades de construção civil gerou uma preocupação dos profissionais com a grande quantidade de resíduos gerados pela mesma. Partindo deste princípio, esta pesquisa enfoca o solo-cimento, material proveniente da mistura de solo, cimento e RCD, o qual se procura obter os parâmetros geotécnicos e avaliar o comportamento mecânico de seus componentes isolados e posteriormente suas misturas em diferentes percentuais de composição. Na metodologia foram coletados materiais oriundos da construção civil, executados ensaios de caracterização física do solo e do RCD e fabricados blocos cilíndricos com diferentes traços e teores de cimento que foram submetidos a ensaios de compressão simples. Os resultados mostraram que o solo-cimento apresenta os parâmetros de resistência exigidos pela norma, revelando uma alternativa economicamente sustentável. Com o emprego desta alternativa haverá uma diminuição no consumo dos recursos naturais, destinação adequada aos resíduos, incentivo a investimentos na fabricação de materiais reciclados e diminuição nos custos.

Palavras-Chave: Resíduos da Construção e Demolição. Solo-Cimento.

Abstract

The growing development of construction activities generated a concern of professionals with the large amount of waste generated by herself. With this assumption, this research focuses on soil-cement, material from the mixture of soil, cement and RCD, which is seeking geotechnical parameters and evaluate the mechanical behavior of its individual components and subsequently their mixtures in diferente percentages of composition. In the methodology were collected materials from the construction, characterization tests performed soil physical and RCD and manufactured cylindrical blocks with diferente features and levels of cement were tested for compressive. The results showed that the soil-cement has the strength parameters required by the standard, revealing an economically sustainable. With the use of this alternative will be a decrease in consumption of natural resources, proper disposal of waste, encouraging investments in the manufacturing of recycled materials and reducing costs.

Keywords: Construction and Demolition Residues. Soil-Cements.

1 Introdução

É notável o crescimento das pequenas e grandes cidades no Brasil e no mundo, segundo os números do censo 2010, a população das cidades dobrou nos últimos dez anos, passou de 3. 054 pessoas em 2000 para 6. 377 em 2010. Um crescimento médio de mais de 10% ao ano. Com isso também é perceptível o número significativo de pessoas que migram para os centros urbanos, geradores de emprego e renda, que vivem um processo de crescimento desordenado. O aumento da população e o desenvolvimento econômico é um dos fatores que provocam o aumento no número de construções de grande porte, acarretando aumento na geração de resíduos pela construção civil. Nesses termos, tornam-se necessário a adoção de medidas que possam minimizar a deposição desse tipo de resíduo em aterros sanitários garantindo assim uma solução economicamente sustentável.

Sabendo da crescente necessidade de novas moradias, os tijolos de solo-cimento apresentam uma alternativa interessante para construção de casas populares já que podem ser feitos no próprio canteiro de obras, diminuindo o custo orçamentário sem comprometer a durabilidade dos imóveis.

Este artigo tem por objetivo viabilizar o uso do resíduo da construção e demolição em misturas de solocimento, criando materiais alternativos que atendam os padrões de qualidade técnica com consequente diminuição dos custos.

2 Solo-Cimento

Segundo a ABCP (1999) [2], o solo-cimento é o produto resultante da mistura íntima de solo, cimento portland e água que, compactados na umidade ótima e sob a máxima massa específica seca, em proporções previamente estabelecidas, adquire resistência e durabilidade através das reações de hidratação do cimento. Os principais fatores que afetam a propriedades do solo-cimento são: tipo de solo, teor do cimento, teor de umidade, compactação e homogeneidade da mistura, além da idade e do processo de cura.

A conceituação do solo-cimento teve origem em Sallsburg no ano de 1917, entretanto, havia poucos relatos até 1932, quando se teve notícia dos primeiros trabalhos cientificamente controlados, como por exemplo, a pavimentação de 17.000m² em Johnsonville, Carolina do Sul, EUA (ANDRADE FILHO, 1989) [3]. O interesse pelo assunto no Brasil se deu a partir de 1936, através da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, que regulamentou e pesquisou sua aplicação. Segundo Ferraz (2004) [4], o emprego deste material em edificações foi iniciado no

Brasil em 1948, com a construção das casas do Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis – RJ. Desde então, a experiência brasileira vem sendo bastante ampliada, com aplicação de novas técnicas construtivas, avanços na tecnologia dos materiais e aprimoramento dos equipamentos de produção.

Segantini (2000) [5] afirma que, quanto a granulometria, os solos arenosos são mais apropriados para a confecção do solo-cimento. A existência de grãos de areia grossa e de pedregulhos é altamente benéfica, pois são materiais inertes com função apenas de enchimento. Isso favorece a liberação de quantidades maiores de cimento para aglomerar os grãos menores. Os solos devem também ter um teor mínimo da fração fina, pois a resistência inicial do solo-cimento é devida à coesão da fração fina compactada.

De acordo com ABCP (1999) [2], a dosagem do solo-cimento deve ser feita por meio de ensaios de laboratório, passando pela análise e interpretação dos resultados com base em critérios pré-estabelecidos. O resultado final consiste na fixação de três parâmetros: quantidade de cimento, quantidade de água e massa específica aparente seca máxima. Os dois últimos sofrem pequenas oscilações em função das variações que ocorrem nas características do solo. Assim, o objetivo da dosagem passou a ser somente a fixação da quantidade adequada de cimento, de acordo com tabela 1.

Tabela 1. Teores de Cimento (ABNT, 1999).

Classificação HRB	Teor de Cimento (%)
A1a	5
A1b	6
A2	7
A3	8
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

3 Introdução

3.1 Estilos

Neste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

3.1.1 Estilos

O Solo utilizado neste trabalho foi coletado próximo ao Porto de SUAPE em Pernambuco. Trata-se de um solo

A6, segundo a classificação HRB – Highway Research Board,.

3.1.2 Resíduo do Concreto

Os resíduos de concreto foram coletados em caçambas coletoras de entulhos existentes em canteiros de obras em Recife-PE, primeiramente fez-se a composição gravimétrica e, em seguida, todo o material foi processado em triturador de mandíbulas e passado na peneira de malha 4.8mm, visando a sua transformação em material granular (Figura 1).



Fig. 1. Resíduo de concreto após o processo de britagem.

3.1.3 Cimento

Foi utilizado o cimento CP II Z 32, da marca Nassau, já que é um cimento composto, com adições normalizadas, para uso e aplicação geral, em que não há necessidade de resistência elevada nas primeiras idades.

3.1.4 Água

Utilizou-se a água potável proveniente da rede pública de abastecimento.

4 Métodos

No primeiro momento, foram realizados ensaios de caracterização das amostras de solo, de RCD e das misturas destes, que englobam os ensaios de granulometria (por peneiramento e por sedimentação), densidade real dos grãos, análise mineralógica e ensaio de compactação com energia Proctor. Estes ensaios foram realizados em conformidade com as normas brasileiras pertinentes.

Na composição do solo-cimento, foram estudadas dosagens compostas por solo natural, solo + 25% de RCD, solo + 50% de RCD, solo + 75% de RCD em relação à massa de solo. Para cada uma dessas composições, o teor

de cimento utilizado foi de 8% em relação à massa da mistura solo-resíduo. Foram moldados dois corpos-de-prova cilíndricos referentes a cada traço estudado (solo + 8% de cimento, solo + 8% de cimento + 25% de RCD, solo + 8% de cimento + 50% de RCD e solo + 75% de RCD). A confecção desses corpos-de-prova cilíndricos serviu para avaliar o comportamento da resistência à compressão simples do solo-cimento ao longo do tempo e para determinar o valor de absorção d'água. Depois de moldados, os corpos-de-prova foram transferidos para câmara úmida do Laboratório de Materiais de Construção da UPE (Figura 2).



Fig. 2. Corpos-de-prova cilíndricos na câmara úmida.

Os ensaios foram realizados em conformidade com as Normas Brasileiras pertinentes, a seguir descritas:

- NBR 6457 (1986) Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização; [10]
- NBR 6459 (1984) Solo – Determinação do Limite de Liquidez; [11]
- NBR 7180 (1984) Solo – Determinação do Limite de Plasticidade; [12]
- NBR 6508 (1984) Solo – Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica; [13]
- NBR 7181 (1984) Solo – Análise granulométrica; [14]
- NBR 7182 (1986) Solo – Ensaio de compactação; [15]
- NBR 12024 (1992) Solo-Cimento: Moldagem e cura dos corpos-de-prova cilíndricos; [16]
- NBR 12025 (1990) Solo-Cimento: Ensaio de

compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos; [17]

- NBR 13555 (1996) Solo-Cimento: Determinação da absorção de água. [18]

5 Resultados e discussões

5.1 Composição Gravimétrica do RCD

A Figura 3 apresenta o percentual de cada material presente na amostra de RCD na fase de estrutura de acordo com a separação tátil-visual realizada.



Fig. 3. Composição Gravimétrica do RCD.

5.2 Composição Granulométrica

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de análise granulométrica

Tabela 2. Composição granulométrica das amostras.

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedr. (%)
Solo	44,05	18,03	37,92	0,0
RCD	3,58	10,42	84,75	1,25
Solo + 25%RCD	5,78	3,28	90,72	0,22
Solo + 50%RCD	2,72	3,72	92,34	1,22
Solo + 75%RCD	8,51	7,91	82,47	1,11

Pode-se observar que as misturas das amostras de RCD estudada são formadas, essencialmente, por materiais granulares (arenosos), tendo-se em menor quantidade o silte e a argila.

5.3 Análise Mineralógica

Para análise dos constituintes mineralógicos da amostra de RCD e de Solo com grãos de diâmetros pré-definidos, separou-se uma pequena quantidade do material e com auxílio de uma Lupa Leica EZ4D foi possível visualizar os minerais constituintes da amostra. Observou-se que na fração de RCD (Figura4) há predominância de quartzoso e de grãos angulosos a muito angulosos.



Fig 4-a. Grão de Alvenaria.

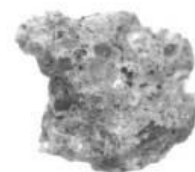


Fig 4-b. Grão de Cimento.

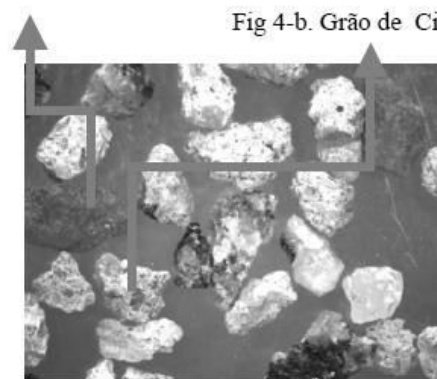


Fig 4. Análise mineralógica do RCD.

5.4 Resistência à compressão dos corpos-de-prova cilindros

Os corpos-de-prova foram retirados da câmara úmida após o período de 60, 90 e 120 dias de cura e foram encaminhados para imersos em água durante 4 horas. E em seguida rompidos por compressão simples no laboratório Avançado de Construção Civil da escola Politécnica de Pernambuco

Apresentam-se na Tabela 3 os resultados obtidos no ensaio de compressão simples.

Tabela 3. Resistência à compressão simples.

Traço	Resistência Média (MPa)		
	60 dias	90 dias	120 dias
Solo + 8% de cimento	2,34	2,48	2,55
Solo + 8% de cimento + 25% de RCD	4,02	6,36	6,93
Solo + 8% de cimento + 50% de RCD	7,94	9,58	13,96
Solo + 8% de cimento + 75% de RCD	8,07	14,23	18,32

6 Conclusões

Pela análise dos resultados, pode-se concluir que:

O Resíduo da Construção e Demolição, especificamente o de concreto, revelou-se uma alternativa para a fabricação de tijolos de solo-cimento, uma vez que ao melhorar as propriedades mecânicas do solo garante maior resistência ao produto. Além disso, sua adição minimizará a quantidade de resíduos destinados aos aterros e consequentemente a extração de matéria – prima para este fim. Os ensaios físicos constataram que os RCD's apresentam características granulométricas equivalentes a areias bem graduadas.

Por meio da análise mineralógica dos grãos observou-se que a fração de RCD na amostra de alvenaria tem a predominância de grãos de sub-angulosos a anguloso, a uma grande presença de quartzo revestido com material cimentício e óxido de ferro, com a presença da biotita e muscovita, pode-se concluir que o grau de intemperização do material é baixo.

Quanto às propriedades tecnológicas, verificou-se que as misturas nas proporções de 25%, 50% e 75% atenderam às especificações para o emprego como solo-cimento. Todos os corpos-de-prova mostraram que a quantidade de cimento adicionada (8% em massa), permitiu que a mistura solo-cimento atingisse uma resistência superior a indicada pela norma que é de 2,1 MPa.

Diante da análise dos dados, observou-se que o emprego de Resíduo da Construção e Demolição pode ser considerado como um novo material que vai diminuir drasticamente a quantidade de entulho lançados no meio ambiente, gerando novas oportunidades nas indústrias de beneficiamento e reduzindo custos nas obras.

7 Conclusões

A realização dessa pesquisa só foi possível devido a enorme ajuda do laboratorista do Laboratório de Mecânica dos Solos da Escola Politécnica de Pernambuco, Fábio Ferreira, que esteve presente na execução de todos os ensaios. Agradeço a Prof^a Kalinny Lafayette por todos os seus atos como orientadora e amiga.

Referências

- [1] JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 102 f. Tese (Livre – Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. *Dosagem das misturas de solocimento: normas de dosagem e métodos de ensaio*. São Paulo-SP, 1999. ABCP, ET-35, 51p.
- [3] ANDRADE FILHO, J. Reforço de solos com a utilização de tubulões em solo-cimento. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 1989, 190p.
- [4] SEGANTINI, A. A. S. *Utilização de solo-imento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira (SP)*. 2000. 176 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- [5] SOUZA, M. I. B. *Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-imento*. 2006. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2006.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6457: Amostra de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, 1986. 9 p.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6459: Solo- Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 1984. 6 p.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.

- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6508*: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984. 7 p.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7181*: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7182*: Solo–Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12024*: Solo---cimento–Moldagem e cura dos corpos---de---prova cilíndricos. Rio de Janeiro 1990. 5 p.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12025*: Solo---cimento–Ensaio de compressão simples de corpos---de---prova cilíndricos. Rio De Janeiro, 1990. 2 p.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13555*: Solo---cimento–Determinação da absorção d’água. Rio de Janeiro, 1996. 2 p.
- [15] ABNT---Associação Brasileira de Normas técnicas. *NBR15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil--execução de cama das de pavimentação*–Procedimentos. 10p Rio de Janeiro, 2004

Benchmarking em empresas de construção civil: identificação das melhores práticas

Andrade, F. K. G.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
fabiakamilly@hotmail.com

Lordsleem Jr., A. C.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

Uma tendência dos dias atuais é a medição da qualidade e produtividade através de indicadores de desempenho, que se referem ao comportamento do processo ou produto em relação a determinadas variáveis: custo, lucro, desperdício, entre outras. Para definir estratégias de qualidade, os indicadores de desempenho de várias construtoras são avaliados e, posteriormente, é realizada uma análise comparativa dos resultados obtidos. A esse método que permite controlar processos críticos e apresentar possibilidades de melhorias através da comparação de resultados, dá-se o nome de benchmarking. O presente artigo vai ao encontro desse contexto, analisa e discute, 10 (dez) indicadores de desempenho, a partir de uma experiência de benchmarking realizada por empresas da construção de edifícios, cuja metodologia contemplou o desenvolvimento de check lists de caracterização, a coleta de dados e a discussão das melhores práticas identificadas num grupo de 12 (doze) construtoras na cidade de Recife/PE.

Abstract

A trend today is to measure the quality and productivity through performance indicators, which refer to the behavior of the process or product in relation to certain variables: cost, profit, waste, among others. To define strategies for quality, performance indicators are evaluated for various construction and is later performed a comparative analysis of the results. In this method to control critical processes and present possibilities for improvement by comparing the results, gives the name of benchmarking. This article is going to meet this context, analysis and discussion, 10 (ten) performance indicators, from an experience of benchmarking carried out by companies in the construction of buildings, whose methodology has seen the development of checklists of characterization, collection data and discussion of best practices identified in a group of 12 (twelve) building in the city of Recife / PE.

1 Introdução

Muitas empresas ainda utilizam sistemas de medição de desempenho tradicionais, nos quais predominam indicadores de caráter contábil, que somente indicam resultados de ações já realizadas (MASKELL et al., 1991 apud COSTA, 2003, p.13).

Essas medidas não focam a visão estratégica, não otimizam a tomada de decisão e oferecem pouca flexibilidade para a solução dos problemas. Além disso, pouco se sabe sobre a satisfação de clientes e o desempenho dos concorrentes. Desse modo, busca-se uma padronização e não a melhoria contínua (NELLY, 1990 apud COSTA, 2003, p.13).

Na busca pelo aperfeiçoamento contínuo da gestão da qualidade, as empresas de construção civil têm aderido à medição de desempenho através de indicadores. Esta prática é relativamente recente, tendo recebido forte impulso pela implantação e certificação de sistemas de gestão da qualidade pelas empresas construtoras.

A adoção dos indicadores de desempenho promove o conhecimento do desempenho das empresas e quando inseridos num processo colaborativo propicia a avaliação comparativa dos resultados entre as empresas de construção civil e, a partir daí, uma identificação das melhores práticas.

Benchmarking é a denominação dada a essa avaliação comparativa para busca das melhores práticas na indústria, que conduzem ao desempenho superior. É visto como um processo positivo e proativo por meio do qual uma empresa examina como a outra realiza uma função específica a fim de melhorar a realização da mesma ou de uma função semelhante.

Tomando como referência uma experiência de *benchmarking* com 12 (doze) empresas de construção civil localizadas em Recife (PE), 10 (dez) indicadores de desempenho puderam ser comparados e analisados, a fim de identificar as práticas que levaram determinada empresa a se destacar num dado indicador.

Os 10 (dez) indicadores selecionados foram: absentismo, consumo de argamassa industrializada, geração de resíduos de placas cerâmicas, boas práticas em saúde e segurança do trabalho, satisfação do cliente (usuário), tempo médio de atendimento, custo dos serviços de assistência técnica, inadimplência, ritmo de vendas e geração de resíduos de tijolos/blocos; todos baseados no sistema INDICON - Projeto de concepção e implantação do sistema de *benchmarking*, idealizado pelo grupo de pesquisa POLITECH (Tecnologia e Gestão na Construção de Edifícios),

trabalho esse coordenado pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de Pernambuco - SINDUSCON/PE.

Estes indicadores de desempenho serão apresentados e discutidos, a seguir, a fim de identificar as práticas adotadas pela empresa que obteve o melhor resultado.

2 Objetivo

Identificar às melhores práticas de indicadores de desempenho, possibilitando a geração de valores de referência para o setor, dando subsídio para a promoção de ações de melhoria contínua e aprendizado.

3 Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida no decorrer de um ano e dividida em cinco etapas:

- Etapa 1: levantamento bibliográfico (normas, artigos, teses, dissertações, etc);
- Etapa 2: levantamento de dados e definição do método de caracterização do *benchmarking*;
- Etapa 3: análise dos indicadores de desempenho e realização de coleta de dados;
- Etapa 4: identificação e caracterização das melhores práticas;
- Etapa 5: diretrizes para a adoção das melhores práticas.

Serão discutidas as etapas 2, 3 e 4, visto que a etapa 1 já foi detalhada no item 1 e a etapa 5 detalhada no item 4.

4 Método de apropriação de dados

Inicialmente, foram coletados os valores mínimo, máximo e de *benchmarking* das 08 (oito) empresas de construção civil que se destacaram nos indicadores analisados. A Figura 1 apresenta os valores obtidos, junto com a identificação da empresa que obteve estes resultados, considerados melhores em comparação com as demais.



Relatório Geral Histórico		Período de Referência: Ago/2010 - Nov/2010		
Indicador	Mínimo	Máximo	Benchmarking	Construtora
Satisfação do Cliente (Usuário)	7,06	8,28	8,28	Empresa D
Ritmo de Vendas				
Dois quartos (%)	26	79	79	Empresa B
Tres quartos (%)	16	88,89	88,89	Empresa A
Quatro quartos (%)	43,3	78,57	78,38	Empresa A
Inadimplência (%)	0	37,31	0	Empresa C
Custo de Serviços de Assistência Técnica				
Primeiro Ano	0,02	0,07	0,02	Empresa D
Segundo Ano	0,03	0,03	0,03	Empresa E
Tempo Médio de Atendimento (Dias)	0,83	13	0,83	Empresa B
Absenteísmo	0	12,63	0	Empresa F
Consumo de Argamassa Industrializada	5	27,1	5	Empresa C
Geração de Resíduos de Placas Cerâmicas (%)	1	11	1	Empresa G
Geração de Resíduos de Tijolos/Blocos (%)	1,29	12	1,29	Empresa A
Boas Práticas em Saúde e Segurança do Trabalho (%)	7,13	100	100	Empresa H

Fig 1. Valores mínimo, máximo e de benchmarking

Os resultados apresentados na Figura 1 foram coletados, mensalmente, no período de Agosto/2010 a Novembro/2010 através do site do INDICON. Eles representaram os melhores valores obtidos nesse período, sendo analisados, posteriormente, por indicador, a fim de identificar as condições que levaram determinada empresa a obter os resultados.

5 Método de caracterização do benchmarking

Para a identificação das melhores práticas adotadas nas oito empresas estudadas, foram elaborados para cada um dos indicadores questionários de caracterização do *benchmarking*. Esses questionários continham algumas perguntas - delineadas a partir das possíveis variáveis do resultado - que foram aplicadas em entrevistas pessoalmente, realizadas com os responsáveis dos setores envolvidos nas construtoras.

6 Análise dos indicadores de desempenhos e discussão dos resultados

O INDICON é um sistema de medição via *internet*, que consiste na concepção, no desenvolvimento e na implantação de um sistema de indicadores de desempenho para *benchmarking* em empresas de construção civil.

Ao acessar o link <www.indicon.dominiotemporario.com>, a empresa pode fazer o *login*, preenchendo os espaços de usuário e senha localizados na parte direita e superior da tela para inserção de dados.

6.1 Estilos

Conceitua-se absenteísmo como sendo o índice que reflete a percentagem do tempo não trabalhado em decorrência das ausências em relação ao volume de atividade esperada ou planejada (CHIAVENATO, 2004).

Este indicador foi selecionado, principalmente, devido à influência no andamento da obra, na produtividade dos funcionários e nos custos de produção (NOGUEIRA, 1982; AZEVEDO, 1982). A partir do controle das faltas, há ganhos de produtividade dos funcionários, e os custos incorridos por horas não trabalhadas são minimizados, refletindo no custo total do empreendimento.

O absenteísmo considerado na pesquisa envolveu os trabalhadores de campo, sendo considerada como falta qualquer tipo de ausência não programada, justificada ou não.

Na entrevista, realizada com a empresa F que obteve um índice zero de faltas num mês, foram levantados e discutidos, aspectos que poderiam influenciar os resultados obtidos deste indicador, sendo o principal deles o estabelecimento, pelo RH, de uma política voltada à satisfação completa de seus empregados.

Essa política caracterizou-se, principalmente, pela motivação dos funcionários oriunda da possibilidade de promoção. Na entrevista, foram levantadas, inúmeras vezes, as chances oferecidas àqueles funcionários que se mostram dispostos: estes são treinados por profissionais mais qualificados no próprio canteiro de obras, no horário de expediente, para adequar-se às novas posições oferecidas e, consequentemente, com melhor remuneração. O mesmo acontece para os estagiários de engenharia civil, que têm a possibilidade de ingressar num programa de *trainees*, antes de assumirem um empreendimento como engenheiros.

Os funcionários, em geral, são aproveitados para outros empreendimentos, devido à escassez dos mesmos frente ao “boom” da construção civil. Segundo os gerentes entrevistados, é muito difícil um funcionário ser desligado da empresa, justamente pela necessidade do mesmo nos empreendimentos. Por isso, é tão importante manter o mesmo satisfeito com a construtora.

Havendo necessidade de advertência, o empregado é advertido verbalmente e por escrito, antes de ocorrer um desligamento da empresa por justa causa, não necessariamente nesta ordem.

Além da possibilidade de promoção, há um incentivo de produtividade, que se resume, basicamente, a seguinte frase: produz mais, ganha mais. Se a obra encontra-se adiantada em relação ao cronograma, são feitas premiações de cestas básicas aos trabalhadores que se destacam.

O emprego de mulheres apenas em atividades técnicas também conta como vantagem na redução do absenteísmo, já que, segundo Reis et al. (2003 *apud* DALL'INHA, 2006, p.27), as mulheres se afastam mais que os homens, devido a dupla atividade: no trabalho e no lar.

Uma prática bastante positiva para reduzir o absenteísmo e identificada na empresa F foi o estabelecimento de um tempo, entre 10 e 15 minutos antes das atividades, para comunicação com os funcionários quanto à pontualidade, posicionamento da chefia, ausências e necessidade de entender o expediente em caso de concretagem, por exemplo.

Constatou-se que as empresas envolvidas com as políticas de RH possuem maior influência sobre seus funcionários. Elas provocam um grande efeito positivo sobre a mão-de-obra e os resultados obtidos por meio deles (DALL'INHA, 2006).

6.2 Consumo de argamassa industrializada

As empresas de construção civil poderiam obter ganhos de eficiência no uso da argamassa industrializada, realizando uma análise nos processos envolvidos, que compreendem desde o recebimento até a aplicação do material (OLIVEIRA, 2006). Daí, a importância de se analisar este indicador de desempenho.

A argamassa industrializada monitorada na pesquisa era utilizada no assentamento de tijolos/blocos da alvenaria de vedação.

A empresa que obteve o melhor resultado, segundo a Figura 1, foi à empresa C, dando-se pela maior atenção no recebimento de materiais e estocagem dos mesmos.

Apesar da descarga manual, que poderia ser evitada com o simples uso de carrinhos porta-*pallets*, os sacos de argamassa industrializada foram descarregados diretamente no depósito, após uma inspeção realizada por amostragem. Essa prática evita o estoque intermediário e os deslocamentos posteriores, evitando qualquer dano nos sacos com os transportes e perda de produtividade de alguns funcionários para efetuar esses deslocamentos (LORDS-LEEM, 2009; PINHO, 2009).

Além disso, a inspeção no momento do recebimento dos sacos evita tanto a geração de resíduos quanto custos do material extra. Na empresa C, a inspeção foi feita por amostragem, sendo analisados, os aspectos enumerados na

Tabela 2 no Item 2. Caso os sacos apresentassem algum dano durante a inspeção que pudesse prejudicar a qualidade do material, como exposição à água e/ou presença de pedregulhos, estes seriam segregados para troca com o próprio fornecedor.

A NBR 7200 (ABNT, 1998) diz que os materiais ensacados, após recebimento, devem ser armazenados em local fechado, protegido da umidade, sobre estrado ou assoalho de madeira, não tendo contato com a parede e ordenados segundo a data de validade para que sejam consumidos dentro do prazo. Se esta norma for realmente seguida, como foi o caso da empresa C, os ganhos de material e de organização são consideráveis.

No preparo da argamassa, cada pavimento da obra monitorada possuía um cartão de controle da quantidade de sacos destinados ao mesmo. Esse controle do material era realizado pelo estagiário de engenharia civil, que detinha autonomia sobre o estoque. No caso da argamassa industrializada, o preparo em locais variáveis é favorecido, permitindo menores solicitações de transporte e mão-de-obra, e otimização do sistema de transporte vertical, com utilização fora dos horários de pico (OLIVEIRA, 2006).

O uso de ferramentas como a desempenadeira de madeira e binaça no preenchimento das juntas horizontais e verticais, respectivamente, contribuiu para maior aproveitamento do material e limpeza do local. Já o uso de misturadores, como a argamassadeira, facilitou o deslocamento da argamassa por apenas um profissional em todo o canteiro.

O que se buscou na empresa C foi um aperfeiçoamento na logística do canteiro de obras, bem como algumas inovações no trabalho com a argamassa, como o uso de argamassadeira e ferramentas mais precisas.

6.3 Geração de resíduos de placas cerâmicas

A construção civil tem se tornado a campeã em geração de resíduos sólidos nas grandes cidades, superando até mesmo a produção de lixo doméstico. Dentre os materiais mais susceptíveis ao desperdício encontram-se as placas cerâmicas, que, juntamente com outros materiais, como plástico, concreto e metais, representam cerca de 6% do total de entulho gerado no canteiro de obras (CAMARGO, 1995).

Os resíduos de placas cerâmicas considerados foram aqueles provenientes do revestimento interno.

Assim como a empresa C controlou as quantidades de sacos de argamassa por apartamento no indicador “con-

sumo de argamassa industrializada”, a empresa G procurou controlar a quantidade de caixas de placas cerâmicas por apartamento. Essa quantidade foi previamente estudada no projeto arquitetônico e estabelecida junto ao estagiário de engenharia civil, que controlava as entradas e saídas do material por apartamento.

A aplicação da argamassa na obra monitorada deu-se tanto na placa quanto no piso ou parede para garantir maior aderência da mesma, evitando descolamentos futuros.

Quanto ao recebimento do material, eram realizadas verificações de tonalidade, metragem, planeza, espessura, ortogonalidade, pesagem, entre outros aspectos no lote de inspeção. Essa inspeção tinha uma duração média de 10 a 15 minutos por caixa.

Para facilitar o trabalho com essas placas, máquinas de corte e furação rápidas em cada pavimento compunham as ferramentas dos trabalhadores, permitindo maior precisão e diminuição do número de peças danificadas pelo corte inadequado, como por exemplo, a serra mármore.

Este indicador de desempenho está intimamente atrelado à prática de produção mais limpa, que não preocupasse apenas com ganhos de eficiência construtiva, mas com o conceito de sustentabilidade.

6.4 Boas práticas em saúde e segurança no trabalho

A construção civil é, hoje, um dos setores de atividade econômica que mais absorve mão-de-obra e que mais gera acidentes de trabalho (LIMA; VALCÁRCCEL; DIAS, 2005). Segundo estimativas da OIT (Organização Internacional do Trabalho), dos aproximadamente 355 mil acidentes mortais que acontecem anualmente no mundo, pelo menos 60 mil ocorrem em obras de construção.

Os acidentes de trabalho, geralmente, são decorrentes de três tipos de situações: aqueles que acontecem no exercício do trabalho, típicos; aqueles que acontecem no percurso entre residência e o trabalho, trajeto; aqueles devidos a doenças profissionais, doenças no trabalho (LIMA; VALCÁRCCEL; DIAS, 2005).

Dentre as práticas que contribuíam para redução dos acidentes típicos, tem-se o treinamento da mão-de-obra. De essencial importância para a percepção dos riscos de acidentes pelos funcionários, o treinamento caracterizou-se pelo uso de DDS (Diálogo Diário de Segurança).

A empresa H também possuía um indicador interno atrelado a cada funcionário através de fichas individuais, que continham todas as informações necessárias para sa-

ÚDE e segurança do mesmo. Nesta ficha consta, por exemplo: acompanhamento do tempo mínimo de treinamento mensal, que era de 3 horas; e a situação do equipamento de proteção individual daquele funcionário específico, ou seja, se o equipamento estava adequado pra uso ou se necessitava de troca.

A limpeza da obra também era item analisado, passando por uma auditoria externa, uma vez ao mês. Em caso de inadequação de limpeza, o engenheiro de segurança e o técnico eram advertidos, devendo ter corrigido o problema na auditoria seguinte.

Simulações de emergência, estabelecimento de rota de fuga e ponto de encontro, técnica de segurança com curso de primeiros socorros, zonas de perigo sinalizadas e uma Planilha de Identificação de Perigos e Avaliação de Riscos (PIPAR) caracterizaram o indicador nesta construtora.

A experiência da empresa H confirmou que a prevenção de acidentes na indústria da construção deve priorizar treinamento dos trabalhadores para melhor percepção dos riscos, além de uma equipe técnica capacitada, que saiba monitorar o desempenho do indicador.

6.5 Satisfação do cliente (usuário)

Por muitos anos, os conceitos de qualidade ficaram restritos à área da produção. Hoje, eles são aplicados cada vez mais aos serviços agregados ao produto, em busca da satisfação total do cliente. Dentre os principais serviços, encontra-se a assistência técnica (RESENDE; MELHADO; MEDEIROS, 2002).

A empresa que obteve o melhor resultado neste indicador, de acordo com a Figura 1, foi a empresa D, observando-se que o resultado obtido pela mesma deu-se pela maior atenção, antes e durante, à entrega do imóvel ao cliente.

Antes da entrega, foi realizada uma vistoria interna, que consiste na avaliação da obra por um cliente interno que, preferencialmente, não tenha participado da produção e seja membro da área de assistência técnica, pois esses, geralmente, têm uma visão crítica para a identificação de defeitos e têm conhecimentos dos defeitos potenciais, uma vez que atendem os clientes insatisfeitos (SOUZA, 1997 *apud* RESENDE; MELHADO; MEDEIROS, 2002).

A vistoria interna na empresa D era bastante criteriosa e efetuada não por um funcionário da assistência, mas por um engenheiro da construtora, que não estava envolvido com a obra em questão. Qualquer inadequação apontada, já era corrigida antes da entrega ao cliente.

Já na vistoria com o cliente, realizada por um funcionário da assistência técnica no ato da entrega do imóvel, todos os itens analisados na vistoria interna eram novamente apontados e com o mesmo critério. Em média, cada entrega de apartamento durava 02 (duas) horas, sendo realizadas no máximo 02 (duas) entregas ao dia, para maior atenção ao cliente. Ao término da vistoria, a entrega era formalizada através da assinatura do termo de vistoria do imóvel e do termo de recebimento do imóvel, visando atender às prescrições contidas no Código de Defesa do Consumidor.

A relação entre a empresa e seus clientes era estabelecida ao longo da edificação com reuniões mensais. Nessas reuniões, os clientes eram informados do estágio em que a obra se encontrava, prazos e discussão de intenções no condomínio ao término da obra, como indicação de administradoras pela empresa.

Em caso de falhas no uso do imóvel, o cliente procedia com uma solicitação de vistoria técnica, para checagem de deferimento ou indeferimento. Em caso de deferimento, a empresa prosseguia com o conserto. Em caso de indeferimento, era cobrada uma taxa de R\$ 150,00 pelo serviço.

A partir dessas vistorias, a empresa D tinha o acesso às principais patologias encontradas no uso da edificação, que permitiam que esta fizesse um diagrama de causa-efeito de falhas, visando à minimização em empreendimentos futuros.

Souza (1997) afirma que a identificação dos fatores que determinam o grau de satisfação dos clientes, ocorre com o acompanhamento do comportamento dos produtos após a entrega, principalmente através da análise dos dados fornecidos pela assistência técnica.

Assim, as práticas identificadas na construtora D, para maior satisfação de seus clientes, deu-se pelo diálogo aberto nas vistorias e retroalimentação do sistema de produção pela prevenção de patologias, através do uso de um diagrama de causa-efeito das falhas já ocorridas.

6.6 Tempo médio de atendimento

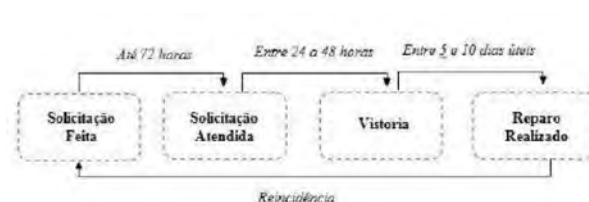
O Código Civil prevê que o construtor tem responsabilidade pela solidez da obra e por vícios ocultos que se manifestam somente após o período de uso. Ciente disso, toda construtora deve possuir procedimentos padronizados a serem seguidos para a realização dos serviços de assistência técnica (PICCHI, 1993; SOUZA, 1997 *apud* RESENDE; MELHADO; MEDEIROS, 2002).

As práticas que puderam ser identificadas na entrevista com a empresa B, que obteve o melhor resultado segundo

a Figura 1, foram à existência de uma equipe voltada apenas para o recebimento das solicitações, composta por 04 (quatro) funcionários, e a realização da vistoria pelo próprio supervisor da assistência técnica.

Além disso, continha, no manual do proprietário, tanto o contato de fornecedores e da assistência técnica da construtora, quanto à descrição do procedimento a ser seguido pelo cliente para efetuar uma solicitação.

As solicitações podiam ser feitas pela *internet* ou pelo telefone, possuindo um prazo de resposta de até 72 horas.



Verifica-se que, apesar da empresa B apresentar um baixo tempo médio de resposta entre a solicitação inicial e a solicitação final, os demais tempos ainda continuam elevados, se considerado o tempo total para a solução do problema.

A realização do serviço deve ser eficiente, uma vez que o final do processo de uma prestação de serviço, no caso o término da realização do reparo, é muito mais importante do que o começo do processo, no caso o atendimento a solicitação ao cliente (Chase; Dasu, 2001 *apud* RESENDE; MELHADO; MEDEIROS, 2002).

Esses autores argumentam que o final é o que fica na lembrança do cliente, uma vez que as pessoas possuem uma preferência inata pela melhoria. Dessa forma, esses mesmos autores afirmam que os reparos devem ser executados em um único estágio, uma vez que as experiências negativas parecem mais longas quando fracionadas em segmentos.

6.7 Custo dos serviços de assistência técnica

Segundo Resende, Melhado e Medeiros (2002), as principais funções da assistência técnica são: o atendimento às reclamações de clientes, a retroalimentação do sistema de produção e a apropriação de custos dos problemas patológicos.

Esta última pode identificar as principais oportunidades para a redução dos custos, da insatisfação do consumidor e servir de estímulo para o aperfeiçoamento tecnológico da empresa (JURAN, 1991 *apud* RESENDE; MELHADO; MEDEIROS, 2002).

Este indicador de desempenho apresentou dois resultados de *benchmarking*: um referente ao primeiro ano após a entrega do empreendimento, e outro, referente ao segundo ano. Para cada um desses resultados, a Figura 02 indica uma empresa de construção específica.

Um dos fatores que mais interferem nos custos de assistência técnica é a utilização incorreta do manual do proprietário, disponibilizado ao cliente no momento de entrega do imóvel. Este manual contém informações úteis com relação ao material empregado, manutenção e uso do edifício.

Muitas vezes, o cliente contrata algum serviço externo para a realização de reparos, sem o conhecimento da construtora e sem consulta ao manual do proprietário, o qual acentua ainda mais as patologias existentes.

É importante que a construtora, no momento de entrega do imóvel, informe ao seu cliente todas as informações contidas no manual do proprietário, bem como o procedimento a ser seguido pelo mesmo para efetuar as solicitações de vistorias. Essa prática evita custos futuros incorridos pelo uso ou reparação inadequada (Souza et al., 1994).

Sabendo a importância do uso correto do manual, o conteúdo presente no mesmo também pôde ser identificado como uma variável do indicador estudado.

Percebeu-se nas entrevistas realizadas com as construtoras que, ambas as empresas possuíam, praticamente, as mesmas informações no manual, salvo algumas particularidades, como por exemplo, a empresa D ofereceu o *croqui* do apartamento, o dimensionamento dos pesos admissíveis na estrutura e um item referente à mudança. Já a construtora E, ofereceu a descrição dos fornecedores e as plantas da área privativa e área comum.

Notou-se também que a finalidade do levantamento dos custos de assistência técnica era a mesma para ambas as empresas, exceto pelo treinamento que a construtora D oferecia aos funcionários dos próximos empreendimentos, que era baseado nas principais patologias já encontradas nos serviços realizados.

A contribuição da assistência técnica das construtoras D e E se deu pela determinação da causa fundamental de cada manifestação patológica encontrada e da frequência de ocorrência das mesmas, favorecendo seus resultados no indicador de desempenho estudado.

6.8 Inadimplência

A construção civil é um dos primeiros setores da indústria a sentir os reflexos da alta dos juros e a sofrer com a

paralisação das atividades, que, por consequência, provoca queda no número de investimentos (CARDOSO, 2005).

Por estar mais vulnerável às oscilações da economia, o setor apresenta elevado risco de crédito, sendo relevante o controle do número de inadimplentes entre seus clientes, a fim de evitar a falta de recursos para saudar os compromissos com as instituições financeiras.

Para que as empresas possam controlar o número de inadimplentes, o INDICON considerou como indicador de desempenho o índice de inadimplência, visando oferecer mecanismos de controle, a partir da identificação das melhores práticas.

Na entrevista, realizada com a gerente do departamento de vendas, foi levantado quais seriam os mecanismos para checagem de crédito dos seus clientes, podendo este critério ter influenciado o resultado obtido pela mesma. A resposta estava no perfil do cliente ao qual era oferecido o empreendimento, que, em geral, eram investidores ou indivíduos pertencentes à classe média alta.

Por possuir clientes de alto poder aquisitivo, a empresa C fez uso de uma carteira de clientes fiéis que, dificilmente, atrasou o pagamento das parcelas.

Apesar da vantagem, a construtora fez o uso de uma rotina de “cobrança prévia”, efetuada 15 dias antes do vencimento, por meio de boleto bancário, lembrando aos seus clientes o compromisso assumido.

Quando acontecia algum atraso, o setor responsável pela cobrança não esperava mais de três dias para efetuarla. A própria gerente de vendas era que entrava em contato com o cliente por telefone, procurando informações quanto ao possível não recebimento do boleto bancário.

Segundo a gerente entrevistada, a camuflagem na cobrança faz com que a empresa ganhe, ainda mais, a confiança, o respeito e a fidelização de seus clientes. Por isso, pouco foi investido no marketing de vendas do empreendimento monitorado, sendo a maior divulgação realizada pelo “boca a boca” dos mesmos.

Nota-se que a empresa C foi favorecida neste indicador pelo perfil de clientes aos quais são destinados os empreendimentos lançados, clientes estes de alto poder aquisitivo. No entanto, foi possível identificar as melhores práticas vivenciadas na empresa C e que podem oferecer, às demais construtoras, subsídios para a redução no índice de inadimplência, como a prática da cobrança prévia e da cobrança camuflada.

6.9 Ritmos de vendas

Dados do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SINDUSCON-SP) mostraram que o setor da construção civil expandiu cerca de 8,8%, em todo o país, no ano de 2010. Em Pernambuco, o mercado tem se mostrado tão vigoroso, que motivou não só o aumento da concorrência, mas o aperfeiçoamento no desempenho de seus departamentos.

O desempenho do processo comercial das 08 (oito) empresas que participaram da presente pesquisa pôde ser medido através do indicador ritmo de vendas. Este sinaliza o quanto uma construtora está sintonizada com os seus consumidores, fornecendo um produto ao gosto do cliente.

O indicador ritmo de vendas foi coletado para empreendimentos de 02 (dois) quartos, 03 (três) e 04 (quatro) quartos, tendo a empresa B se destacado no segmento dois quartos e a empresa A se destacando no segmento três e quatro quartos.

A descrição do empreendimento é fator essencial para o entendimento do ritmo de vendas do mesmo, pois este pode apresentar ou não os itens que determinam o fechamento de uma compra.

Analisando as áreas privativas dos dois empreendimentos monitorados, verificou-se que estes compreendem cerca de 60 m², sendo considerados como apartamentos pequenos, e oferecendo boas condições de lazer, como por exemplo, piscina, playground e salão de festas.

Segundo reportagem do Jornal Hoje, quem ganha entre cinco e dez salários mínimos busca um novo tipo de imóvel: pequeno, mas com "mordomias". Assim, o fato das construtoras terem lançado os empreendimentos com estas características, pode ter contribuído para o resultado do indicador.

Outro fator que pode ter favorecido foi à localização dos empreendimentos. Enquanto a obra da construtora B localizava-se no bairro do Pina, próximo ao Shopping Rio Mar que ainda está em construção, a obra da construtora A localizava-se num bairro extremamente procurado para residências e próximo ao centro da cidade, o bairro do Espinho.

Como estratégias de marketing, estas também utilizavam os principais recursos de divulgação, como internet, banners, folderes e televisão, mas vale salientar que, para a construtora B, não foi muito necessária estas estratégias, pois a maior divulgação foi realizada pelos comentários boca a boca.

As principais práticas identificadas neste indicador resumiram-se a um estudo de mercado na fase de projeto dos empreendimentos, bem como das características mais procuradas pelos compradores. No estudo de mercado, foram

consideradas variáveis como tipo de cliente, órgãos financiadores, faixa de preço, localização e caracterização do empreendimento; sendo estas analisadas como variáveis dependentes uma das outras, a fim de intensificar o ritmo de vendas da construtora.

6.10 Geração de resíduos de tijolos/blocos

A alvenaria de um sistema construtivo pode ser conceituada como sendo o sistema de paredes e muros, ou obras similares, executadas com pedras, com tijolos cerâmicos, blocos de concreto, cerâmicas e silicocalcário, assentados com ou sem argamassa de ligação (ZULIAN; DONÁ; VARGAS, 2002).

As paredes de vedação em alvenaria são assim denominadas por não possuírem função estrutural, restringindo-se a vedação, isto é, "tampar vãos". Sendo os elementos mais utilizados, atualmente, na construção de edifícios, estes se inter-relacionam com outros elementos da alvenaria, como por exemplo, revestimentos, esquadrias, instalações, impermeabilizações e estrutura, podendo influenciar até 40% do custo total da obra (PINHO, 2010).

As vedações em alvenaria também são responsáveis por, aproximadamente, 17% de desperdício de tijolos/blocos e 115% de desperdício de argamassa. Nesse sentido, a racionalização das alvenarias de vedação é destacada como fundamental para o atendimento dos requisitos de custo, prazo e qualidade (PINHO, 2010).

O índice de geração de resíduos de tijolos/blocos representa o valor de *benchmarking* obtido pela empresa A e caracterizado a seguir.

O projeto de alvenaria é uma ferramenta bastante utilizada, atualmente, nas vedações verticais e de essencial importância para a qualidade do produto, sendo responsável pela coordenação e compatibilização das disciplinas de projeto, modulação e ajuste dimensional das paredes, detalhamento técnico do processo de alvenaria e projeto de produção.

Diante disto, o questionário de caracterização do *benchmarking* do indicador em questão continha uma descrição do projeto de alvenaria, a fim de identificar as singularidades da empresa A, que levaram ao menor índice de geração de resíduos de tijolos/blocos.

As singularidades encontradas foram à adoção de semi blocos e compensadores do bloco 9x19x39 cm próximo ao encunhamento, amarração de paredes e nas aberturas de portas e janelas, ao invés da quebra de blocos inteiros para a mesma finalidade. Além disso, a adoção da planta de numeração de paredes, da paginação da parede em elevação

e da planta de primeira e segunda fiada permitiram a melhor identificação das mesmas e prevenção de retrabalhos em caso de erros.

A elevação de cada parede foi feita separadamente, sobrepondo-se os projetos de instalações e contemplando os tipos de blocos, a quantidade de cada um, as dimensões das aberturas, a posição de vergas e contravergas, o posicionamento de eletrodutos e caixas de luz, telefone, antena, internet e outros, além dos detalhes de amarração de paredes e entre as paredes e a estrutura.

Quanto ao recebimento, os blocos, assim que chegavam ao canteiro de obras eram armazenados diretamente no estoque definitivo semi enterrado, não havendo estoque intermediário, com o intuito de desobstruir o corredor de acesso à obra.

Segundo Pinho (2010), a utilização de estoque intermediário é uma característica típica do processo construtivo tradicional e que só aumenta a possibilidade de quebras dos blocos. A não utilização deste estoque intermediário pôde ter contribuído para o resultado de *benchmarking* obtido pela construtora A.

Além disso, o fato dos blocos serem *palletizados* e transportados em carrinhos porta mini *pallets* reduziu o contato do bloco com a umidade do chão e otimizou o tempo de transporte dos mesmos até o pavimento, necessitando de menos força empregada da mão-de-obra.

7 Considerações finais

Apesar de algumas práticas aqui mencionadas já serem vivenciadas na rotina de uma construtora, a identificação delas pelo processo de *benchmarking* permitiu o fortalecimento dos conceitos já aplicados e o aprimoramento em algumas situações.

A elaboração dos questionários de caracterização do *benchmarking* trouxe não só o detalhamento das práticas adotadas pelas empresas participantes, mas o conhecimento abrangente das variáveis do indicador e o acompanhamento dos processos envolvidos com o mesmo.

O fato dos questionários serem respondidos, pessoalmente, em entrevista realizada com os responsáveis pelo setor envolvido, facilitou na identificação das melhores práticas, bem como a percepção da importância do indicador para construtora.

As contribuições geradas foram relevantes para a finalização do processo de *benchmarking*, iniciado em pesquisas anteriores e coordenado pelo mesmo grupo de pesquisa, o POLITECH. Estas possibilitaram a definição de

características de referência para o setor da construção civil em Recife/PE, a fim de planejar, controlar e melhorar, continuamente, seus processos.

Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. **ABNT NBR ISO 9001**: Sistema de gestão da qualidade - Requisitos. Rio de Janeiro, 2000, 21p.
- _____. **ABNT NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **ABNT NBR 14081**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- Ações para diminuição da geração de resíduos na indústria de revestimentos cerâmicos e a reciclagem das “raspas”. Parte I: resultados preliminares.** Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/ras-pas.pdf>>. Acesso em: 06 de jul. de 2011.
- [2] CARDOSO, A. L. **Políticas de recuperação de crédito de longo prazo em situação de inadimplência com direcionamento para a agência de fomento: o caso BADESC.** 2005. Monografia (Graduação), Universidade do Vale do Itajaí, São José.
- [3] CAMARGO, A. Minas de Entulho. **Téchne**, São Paulo, nº 15, ed. PINI, mar/abr.1995. CASTRO, I. R. Grandes mudanças no marketing das construtoras e incorporadoras imobiliárias. **Artigonal, diretório de artigos gratuitos.** Disponível em: <<http://www.artigonal.com/marketing-e-publicidadeartigos/grandes-mudancas-no-marketing-das-construtoras-e-incorporadoras-imobiliarias-379513.html>>. Acesso em: 15 ago. 2011.
- [4] CHIAVENATO, I. **Teoria Geral da Administração.** São Paulo, 2004.
- [5] COSTA, D. B. **Diretrizes para concepção, implementação e uso de sistemas de indicadores de desempenho para empresas da construção**

- civil. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- [6] DALL'INHA, G. R. **A influência das práticas e das políticas de recursos humanos sobre o absenteísmo e a rotatividade: um estudo de caso.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- FREITAS, C. L. **Notas de aula** da disciplina Engenharia Ambiental. Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, 2011.
- GAEDE, L. P. F. **Gestão dos resíduos da construção civil no município de Vitória – ES e normas existentes.** 2008. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Belo Horizonte.
- Incorporadora usa mediação para resolver problemas de inadimplência. **Portal VGV.** Disponível em: <<http://www.portalvgv.com.br/site/incorporadora-usamediacao-para-resolver-problemas-de-inadimplencia/>>. Acesso em: 15 ago. 2011.
- LANTELME, E. M. V. **Proposta de um sistema de indicadores de qualidade e produtividade para construção civil.** 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- [7] LIMA JR., J. M.; VALCÁRCEL, A. L.; DIAS L. A. **OIT - Secretaria Internacional do Trabalho.** Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.oit.org.pe/WDMS/bib/publ/doc-trab/dt_200_port.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2011.
- [8] LORDSLEEM JR., A. C.; PINHO, S. A. C. Perdas de Tijolos/Blocos e argamassa da alvenaria de vedação: metodologia de coleta e análise de resultados. In: **VII Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura - ENTECA**, Maringá, 2009. Minas Gerais. Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON – MG). Programa Qualimat SINDUSCON – MG. **Placas cerâmicas para revestimento.** Belo Horizonte, 2009. 24p. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/54080996/Placas-Ceramicas-Para-Revestimento>>. Acesso em: 06 de jul. 2011.
- [9] OLIVEIRA, F. A. L. **Argamassa industrializada: vantagens e desvantagens.** 2006. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.
- PEREIRA, E. A. **Diagnóstico dos problemas de gestão de obras habitacionais de interesse social em empresas privadas.** Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil), Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2008.
- [10] PINHO, S. A. C. **Avaliação da racionalização da tecnologia construtiva das vedações em alvenaria através de indicadores de desempenho.** 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife.
- [11] RESENDE, M. M.; MELHADO, S. B.; MEDEIROS, J.S. **Gestão da qualidade e assistência técnica aos clientes na construção de edifícios.** In: V Congresso de Engenharia Civil, 2002, Juiz de Fora – MG.
- RIBEIRO, M. O marketing das construtoras na venda de imóveis. **IRC – Inácio Rodrigo de Castro.** Disponível em: <<http://inaciorodrigodecastro.com.br/o-arketing-dasconstrutoras-na-venda-de-imoveis>>. Acesso em: 15 ago. 2011.
- [12] SOUZA, R.; MEKBEKIAN, G.; SILVA, M. A. C.; LEITÃO, A. C. M. T.; SANTOS, M. M.; **Sistema de Gestão da Qualidade para Empresas Construtoras.** São Paulo: SINDUSCON, 1994 .

Análise Comparativa do desempenho de concretos com adições minerais quanto à corrosão de armaduras por íons cloretos

Pinheiro, H. F.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
hugoofp@gmail.com

Monteiro, E. C. B.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
nana.monteiro@uol.com.br

Resumo

Neste trabalho, procurou-se avaliar o comportamento de concretos produzidos com adições minerais, quanto à corrosão das armaduras sob a ação de cloretos livres. Realizaram-se ensaios de absorção capilar, absorção por imersão e ensaio acelerado de corrosão, de modo a avaliar de forma comparativa as adições utilizadas. Para cada adição foram feitos corpos de prova, variando a relação água/cimento (0,4 e 0,7), o tipo e o teor da adição. Ao longo dos ensaios de absorção capilar e absorção por imersão, as grandezas medidas foram: massa dos corpos de prova (M) e Variação da massa (Mv). O procedimento adotado possibilitou analisar de forma comparativa a capacidade de absorção de líquidos. E no ensaio acelerado de corrosão, a grandeza medida foi: o potencial de corrosão. Desse modo, pode-se concluir que os corpos de prova com adição de 7% de Silica, com tempo de cura de 28 dias e relação água/cimento 0,4, foram os que apresentaram menor absorção de água, por capilaridade e imersão, e, portanto, os que apresentaram um melhor desempenho contra os íons cloretos..

Abstract

In this work, we tried to evaluate the behavior of concrete made with mineral additions, the corrosion of the reinforcement under the action of free chlorides. There were essays of capillary absorption, absorption by immersion and accelerated assays of electrochemical corrosion, in order to evaluate comparatively the additions used. For each addition were made concrete specimens, varying the ratio water/cement (0.4 and 0.7), the type and content addition. Over the capillary absorption and absorption by immersion tests, the measured quantities were: mass of the concrete specimens (M) and Variation of mass (Mv). The procedure adopted allowed a comparative analysis of the ability to absorb liquids. And in the accelerated corrosion test, the quantity measured was: the potential for corrosion. So, we can conclude that the concrete specimens with the addition of 7% Silica, with cure time of 28 days and water / cement ratio 0.4, presented the lowest water absorption by capillarity and immersion and therefore, those who performed better against the chloride ions.

1 Introdução

Existe uma preocupação constante no meio científico com a durabilidade do concreto armado. Devido a muitos casos que apresentam problemas estruturais, funcionais e de estética. Sendo a corrosão da armadura, uma das mais frequentes e a que apresenta maior risco a segurança. Quando exposto a corrosão, o concreto armado tem sua vida útil reduzida, por esse ser um mecanismo que afeta sua durabilidade. Sérios danos a estrutura aparecem em forma de fissuras, perda de aderência, decaimento do cobrimento e redução da seção.

Esse Fenômeno tem grande incidência em todo o país, principalmente Pernambuco. Andrade (1997) em levantamento realizado no estado de Pernambuco constatou que a corrosão das armaduras é responsável pela maior parte da degradação das estruturas em concreto, sendo responsável por 62% dos casos de manifestações patológicas registradas nas edificações. Nince (1996), também pesquisando a incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto na região Centro-Oeste, encontrou a maior percentagem de incidência para a corrosão das armaduras de 30,1% em Brasília. Devido aos inúmeros casos de estruturas afetadas em todo o país, a corrosão das armaduras tem sido um grande problema na construção civil.

As armaduras das estruturas do concreto têm como camada protetora a cobertura de concreto. Que devido a sua elevada alcalinidade. Cria-se uma fina película passiva, que garante a proteção à corrosão. Entretanto essa relação de equilíbrio pode ser alterada quando o pH do concreto é reduzido, por carbonatação ou pela ação de ação de cloretos livres. Quando ocorre desequilíbrio, ocorre o fenômeno de despassivação da armadura. Esse fenômeno marca o início da fase de propagação da corrosão, e já se observa as manifestações típicas do fenômeno de corrosão. A carbonatação e os cloretos freqüentemente agem simultaneamente nas estruturas, ocasionando um efeito adicional na corrosão principalmente na fase de propagação (ALONSO & ANDRADE, 1988, MONTEIRO, 1996). São cada vez mais empregadas técnicas de proteção a armadura do concreto. Visando o aumento da durabilidade e da sua vida útil. O uso de aditivos, como sílica e metacaulim, para diminuir os poros e assim a permeabilidade de agentes agressivos associado a alterações na relação água/cimento e no tempo de cura podem evitar o surgimento de patologias prematuras aumentando as estimativas de vida útil da estrutura.

2 Procedimento Experimental

2.1 Materiais Utilizados

Foram moldados corpos de prova, prismáticos e cilíndricos com os seguintes materiais: Cimento Portland

(CP II Z-32), areia oriunda da região e adições minerais (Sílica e Metacaulim).

2.2 Metodologia Utilizada

As séries dos corpos-de-prova estão descritas Tabela 1.

Tabela 1 – Denominação das séries de ensaios

Séries	Adição	Teor de adição	Traço	A/Ag
01	S/ adição	0%	1:0:1,3	0,4
02	S/ adição	0%	1:0:3	0,7
03	Sílica	7%	0,93:0,07:0,6	0,4
04	Sílica	7%	0,93:0,07:3,0	0,7
05	Metacaulim	15%	0,85:0,15:0,3	0,4
06	Metacaulim	15%	0,85:0,15:3,0	0,7

*Traço em massa

Os corpos-de-prova de presente trabalho foram cilíndricos, confeccionados nas dimensões 5 x 10 cm, e prismáticos, confeccionados nas dimensões de 60 x 80 x 25 mm, com duas barras de 5.0 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento. Para cada série foram feitos 6 corpos de prova prismáticos e 6 cilíndricos, sendo 3 com relação a/AC 0,4 e 3 com 0,7.

Para os ensaios acelerados de penetração de íons cloreto, foram utilizados corpos de prova, prismáticos. Para esse tipo de ensaio, foi utilizado a condição de imersão parcial em NaCl com semi-ciclos de secagem e imersão parcial, proposto por Monteiro (1996), pois além do transporte dos agentes agressivos por absorção capilar, permite o ingresso de cloreto por difusão.

Tabela 2 – Ensaio Acelerado de Cloretos

SEMI-CICLO	CONDIÇÕES	DURAÇÃO
Secagem	Estufa	5 dias
Umectação	Parcialmente submerso	7 dias

Os corpos de prova, no ciclo de secagem, ficam dispostos em estufa ventilada, na temperatura de 50°C, por 5 dias (Figura 4.1). No final os corpos de prova são pesados e são feitas as medições de potencial de corrosão.



Figura 2.1 – Corpos de prova disposto em estufa

Já no ciclo de umectação, os corpos de prova são mantidos na condição de parcialmente imerso, com o nível da solução, de 5% NaCl, do recipiente que corresponde à metade da altura da área de exposição das barras (Figura 4.2). No final, são pesados e são feitas as medições de potencial de corrosão

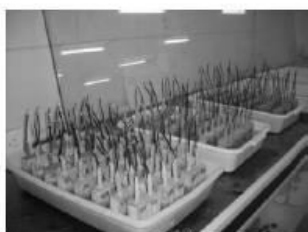


Figura 2.2 – Corpos de prova imerso em solução de 5% NaCl

O potencial de corrosão (E_{corr}) é considerado um indicador de deterioração e avalia os aspectos termodinâmicos à corrosão. A norma ASTM C – 876/(1991) associa uma probabilidade superior a 95% de corrosão para valores de potenciais inferiores a -350 mV, para eletrodo de cobre / sulfato de cobre.

O ensaio de Absorção por imersão seguiu a NBR 9778 (ABNT, 1997). Para o ensaio foram usados corpos de provas cilíndricos. Que foram dispostos em estufa, na temperatura de 100°C, até atingir constância de massa. Após retirados da estufa, foram resfriados em ambiente de laboratório por 24h. Em seguida foram pesados e imersões em água a um nível de 20 cm (Figura 2.3), que foi mantido por todo o ensaio, 30 dias. Os corpos de prova foram pesados diariamente.



Figura 2.3 – Corpos de prova em ensaio de imersão

O ensaio de Absorção por capilaridade seguiu a NBR 9779 (ABNT, 1987). Para o ensaio foram usados corpos de provas cilíndricos, que foram dispostos em estufa, 100°C, até atingir constância de massa. Após retirados da estufa, foram resfriados em ambiente de laboratório por 24h. Em seguida foram pesados, e dispostos em recipientes com água a nível constante de 5 mm (Figura 2.4), que foi mantido durante todo o ensaio, por coesões de água quando necessário. O ensaio deve duração de 30 dias, e os corpos de prova foram pesados diariamente.

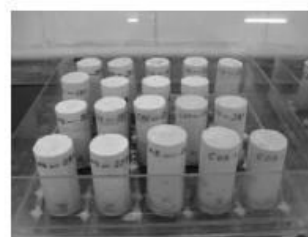


Figura 2.4 – Corpos de prova em ensaio de absorção por capilaridade

3 Resultados

3.1 Materiais Utilizados

A figura 3.1 apresenta os resultados do potencial de corrosão para os corpos de prova de Referência com relação água/cimento 04, e 0,7

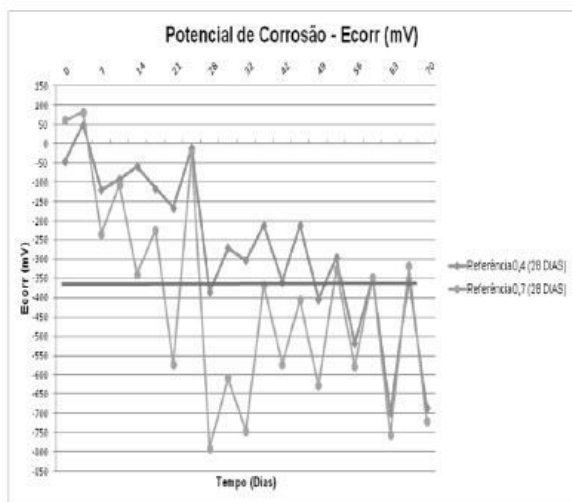


Figura 3.1 – Potencial de corrosão (mV) para os corpos de prova Referência.

Conforme pode ser observado às armaduras da Referência 0,4 depassivaram após os 28 dias de ensaio, porém as armaduras de Referência 0,7, depassivaram após 21 dias atingindo patamar inferior a -350mV. O que demonstra a influência da relação água/cimento nos resultados.

A figura 3.2 apresenta os resultados de todos os corpos de prova para o ensaio de potencial de corrosão

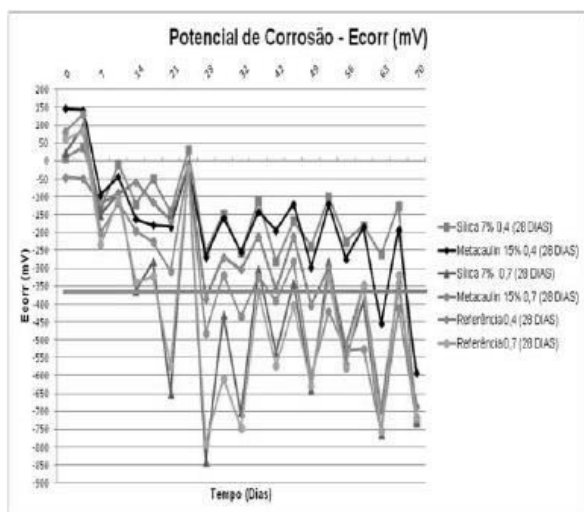


Figura 3.2 – Potencial de corrosão(mV) para todos os corpos de prova.

Como pode ser observado na Figura 3.2, os corpos de prova que apresentaram melhor desempenho foram os corpos de prova com adição de 7% de Sílica e relação água/cimento 0,4.

3.2 Ensaios de Absorção por imersões

A figura 3.1 mostra os resultados de absorção por imersão para os corpos de prova Referência, com 28 dias de cura e diferentes relações a/ag.

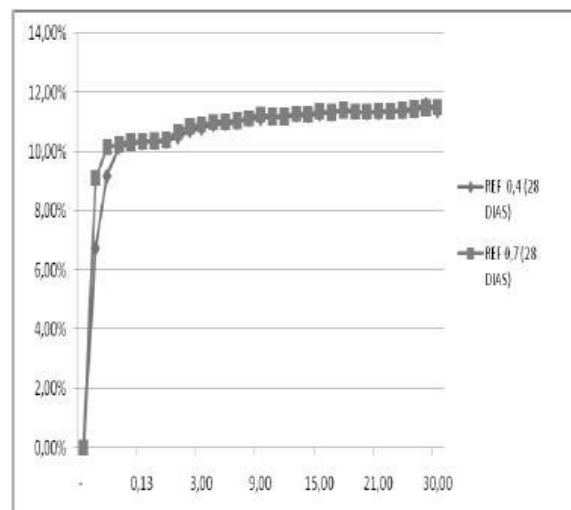


Figura 3.3 – Absorção por imersão para corpos de prova Referência.

Os resultados indicam que a variação na relação a/ag não tem influência significativa nos resultados de absorção de água por imersão para os corpos de prova de Referência em ambas as relações a/ag.

A figura 3.2 mostra os resultados de absorção por imersão para os corpos de prova com 15% de metacaulim e 7% de sílica.

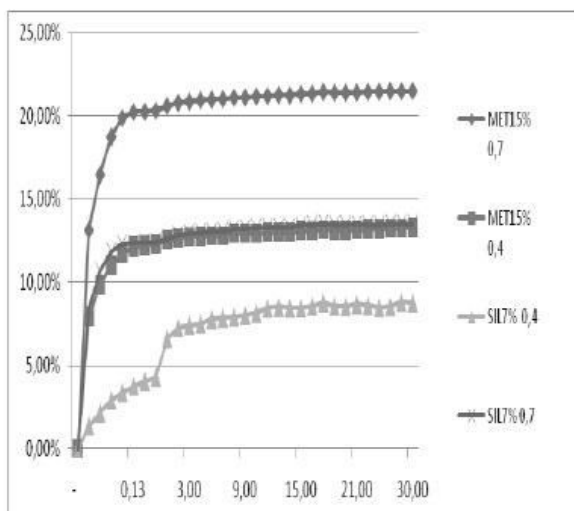


Figura 3.4 – Absorção por imersão para corpos de prova com adição de 15% de Metacaulim e de 7% de Sílica

3.3 Ensaio de absorção por capilaridade

A figura 3.3 mostra os resultados de absorção por capilaridade para os corpos de prova Referência e diferentes relações água/aglomerante.

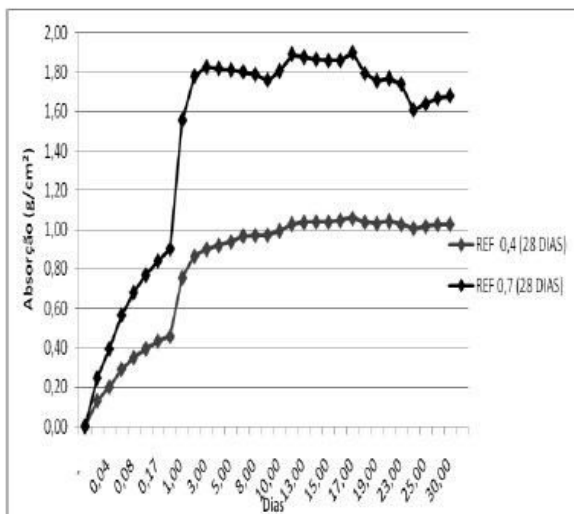


Figura 3.5 – Absorção por capilaridade (g/cm^2) para corpos de prova Referência com tempo de cura de 28 dias e diferentes relações a/ag

Com base nos resultados apresentados na Figura 3.3, pode-se concluir que os corpos de prova de Referência com relação água/cimento 0,4 apresentaram menos absorção de água por capilaridade quando comparados com os corpos de prova de Referência com relação água/cimento 0,7.

A figura 3.4 mostra os resultados, comparativos, de absorção por capilaridade para os corpos de prova de 15% metacaulim e de 7% sílica. Foi utilizado na comparação as realções a/ag 0,4 e 0,7, tanto para metacaulim quanto para sílica.

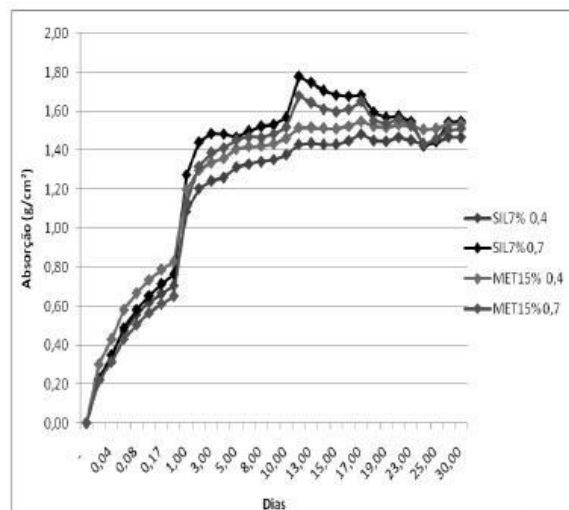


Figura 3.6 – Absorção por capilaridade (g/cm^2) para corpos de prova com adição de 15% de Metacaulim e 7% de Sílica.

Nos resultados apresentados na Figura 3.4, a variação da relação a/ag e de adição, não influenciam significativamente nos resultados dos ensaios de absorção por capilaridade em corpos de prova com adição de 7% de Sílica e de 15% de Metacaulim. Ao fim do período de 30 dias verifico-se que os corpos de prova fator a/c 0,4 e 15% de Metacaulim absorveram $1,51 \text{ g}/\text{cm}^2$, enquanto que os corpos de prova fator a/c 0,7 absorveram $1,53 \text{ g}/\text{cm}^2$. Assim como nos corpos de prova de 7% de Sílica, os corpos de prova fator a/c 0,4 absorveram $1,46 \text{ g}$ para cada cm^2 de superfície em contato com a água, enquanto que os corpos de prova fator a/c 0,7 absorveram $1,55 \text{ g}/\text{cm}^2$.

4 Discussão dos Resultados

4.1 Absorção de água por capilaridade

O índice de absorção capilar de um estrutura esta relacionado diretamente às características do concreto que influenciam na capacidade de proteção das armaduras contra o fenômeno da corrosão.

A porosidade e permeabilidade indicam as condições da pasta do concreto referente à entrada de agentes agressivos até chegar à armadura através dos mecanismos de transporte.

Os resultados obtidos neste ensaio indicam que a relação a/ag interferiu de maneira pouco significativa. Mesmo assim, os corpos de provas com relação água/cimento 0,4 obtiveram menor absorção que os de relação 0,7 devido a menor quantidade de vazios existentes na estrutura.

Os resultados indicam que os corpos de prova com adição de 7% de Sílica, tempo de cura 28 dias e relação a/ag 0,4 foram os que apresentaram menor absorção de água por capilaridade, sendo considerado portanto, o material que apresentou melhores resultados para os ensaios de absorção de água por capilaridade.

4.2 Absorção por imersão

A absorção por imersão também esta ligada a porosidade e permeabilidade do concreto onde os corpos de prova de relação água/cimento 0,4 obtiveram menor absorção.

Os resultados indicam que os corpos de prova com adição de 7% de Sílica, tempo de cura 28 dias e relação a/ag 0,4 foram os que apresentaram menor absorção de água por imersão, sendo considerado, portanto, o material que apresentou melhores resultados para os ensaios de absorção de água por imersão.

4.3 Evolução do potencial de corrosão (E_{cor})

Como pôde ser observado na Figura 3.2, os corpos de prova que apresentaram melhor desempenho foram os corpos de prova com adição de 7% de Sílica e relação água/cimento 0,4.

Observa-se que a Sílica teve melhor comportamento nos ensaios de absorção por capilaridade e imersão, mostrando que os corpos de prova com adição de Sílica apresentaram comportamentos de poros mais refinados, consequentemente, mais impermeáveis do que os corpos de prova com adição de metacaulim.

Referências

- [1] ANDRADE, J. J. O. Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997
- [2] NINCE, A. A. Levantamento de Dados sobre a Deterioração de Estruturas na Região Centro-Oeste. Dissertação de Mestrado, Brasília, UnB, 1996
- [3] ALONSO, M. C. ; ANDRADE, C. Corrosion of steel reinforcement in carbonated mortar containing chloride. *Advanced Cement Research*, v.1, 1988.
- [4] MONTEIRO, E.C.B. Estudo da capacidade de proteção de alguns tipos de cimentos nacionais, em relação à corrosão de armaduras, sob a ação conjunta de CO₂ e íons cloretos. 1996. 138p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília.
- [5] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for half cell potential of uncoated reinforcing steel in concrete. ASTM C 876: 1991. Philadelphia: Annual Book of ASTM Standards.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - NBR 9778. (1987) “Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica”. Rio de Janeiro.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

Estudos de Eventos Extremos de Chuva na Bacia Hidrográfica do Rio Una

Oliveira, R. L. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
reginalmoliveira@hotmail.com

Silva, S. R.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

Em junho de 2010 chuvas torrenciais caíram sobre a Zona da Mata de Pernambuco, causando danos econômicos, a destruição de cidades e perda de vidas em várias cidades. As áreas mais atingidas no estado estão localizadas na Bacia do Rio Una. Mudanças no padrão de precipitação têm um impacto direto sobre os recursos hidrológicos ciclo e água. As projeções futuras para o impacto das alterações climáticas apontam para mudanças na temperatura média e precipitação total, com aumento da frequência de eventos extremos de precipitação que podem causar enchentes mais intensas e frequentes. A série histórica de dados diários de precipitação indica valores recorde para vários locais na bacia durante este período. Neste trabalho, apresentaremos uma análise estatística de chuvas na bacia, realizada para determinar a precipitação máxima diária, caracterizando os eventos extremos registrados em Junho/2010.

Abstract

In June 2010 heavy rains fell over the Zona da Mata of Pernambuco, causing economic damages, buildings destruction, and loss of life in several towns. Changes in rainfall pattern have a direct impact on the hydrological cycle and water resources. The future projections for the climate change impacts point to changes in average temperature and total rainfall, with increased frequency of extreme precipitation events that may cause more intense and frequent floods. The historical series of daily rainfall data indicate record values for several locations in the basin during this period. In this work we demonstrated a statistical analysis of rainfall occurred in the basin to determine the maximum daily rainfall, characterizing extreme events registered in June/2010.

1 Introdução

Os regimes pluviométricos são classificados para as três mesorregiões distintas de Pernambuco: Litoral e Zona da Mata, Agreste e Sertão.

O regime pluviométrico da Zona da Mata é identificado por um período chuvoso que ocorre entre abril e agosto, com totais pluviométricos médios anuais variando entre 1000 e 2000 mm. As chuvas intensas que ocorrem nesse período são as que provocam os maiores transtornos: enchentes, deslizamentos e inundações que culminam em mortes e dezenas de pessoas desabrigadas. No entanto, esta estação chuvosa também é responsável por aumentar as reservas de água para a população e é indispensável ao setor agrícola.

Isso torna clara a necessidade de estudarmos a ocorrência de eventos extremos de chuva, seja para aperfeiçoar o armazenamento de água ou quantificar as chuvas intensas que poderiam causar estragos em infra-estruturas, por exemplo. Esse conhecimento sobre a intensidade e distribuição dessas chuvas, mostra sua importância na conservação do solo, na irrigação e drenagem, no dimensionamento de canais, vertedores, condutos de descarga e galerias de águas pluviais e nos projetos de aproveitamento de bacias hidrográficas. Temos como exemplo, o evento de chuvas máximas que ocorreu entre os dias 17, 18 e 19 de junho de 2010 nas bacias hidrográficas dos rios Una (Pernambuco) e Mundaú (Alagoas), atingiu 54 municípios, provocou 17 mortes e deixou mais de 26 mil pessoas desabrigadas e outras 53.518 desalojadas. Pessoas sem comida, sem casa, sem rumo.

Em Palmares são esperados, em média, no mês de junho 219 mm de chuva, caracterizando-o como mês mais chuvoso. O que nos leva a conclusão de que é normal que aconteçam eventos de chuva extrema durante este período, nesta área, porém em junho de 2010 foram 354, 5 mm apenas em três dias (17, 18 e 19), ou seja, 135, 5 mm acima da média mensal.

2 Material e método

2.1 Área de Trabalho

O Rio Una nasce na serra da Boa Vista, no município de Capoeiras (Região Agreste) e percorre 255Km até seu encontro com o Oceano Atlântico.

Tendo seu curso alto situado na zona fisiográfica do Agreste, enquanto os cursos médio e baixo encontram-se na zona da Mata. Apresenta-se intermitente até a cidade de Altinho, quando se torna perene devido ao aumento dos índices pluviométricos.

- Curso superior: Agreste; precipitação anual entre 600 e 800 mm.
- Curso médio: Zona da Mata; precipitação média anual é de 1500 mm.
- Curso inferior: Área Costeira; precipitação média anual de 2000 mm.

A área da Bacia Hidrográfica é de 6.295,77Km². Localizada no limite sul do litoral do Estado de Pernambuco, entre 8°17'14" e 8°55'28" de latitude sul, e 35°07'48" e 36° 42'10" de longitude a oeste de Greenwich.

2.2 Evento Crítico junho/2010

Entre os dias 17, 18 e 19 de junho de 2010, uma enchente atingiu 67 cidades pernambucanas, principalmente da Zona da Mata e Agreste do Estado, deixando um rastro de destruição. 21 pessoas morreram, enquanto 26.966 ficaram desabrigadas e 55.643 pessoas ficaram desalojadas; 14.136 casas foram destruídas; 142 pontes ficaram danificadas, sendo que muitas delas foram totalmente levadas pela água; 5.000 km de estradas foram danificados; 12 municípios decretaram estado de calamidade pública 27 ficaram em situação de emergência.

Em 24 horas choveu na região afetada 170 milímetros, o equivalente à metade da média histórica para todo o mês de junho. Nos municípios mais afetados quase nada escapou: as águas atingiram até mesmo as ruas centrais da cidade, pondo abaixo prédios de hospitais e órgãos públicos (DIÁRIO DE PERNAMBUCO).

2.3 Seleção das estações pluviométricas

Foi realizado um levantamento de todos os municípios englobados pela Bacia do Una e selecionei os pluviômetros da área para desenvolver uma caracterização pluviométrica da Bacia do rio Una contendo as médias mensais de precipitação e o total anual precipitado. Estas informações foram levantadas junto ao Laboratório de Meteorologia de Pernambuco- LAMEPE, através do banco de dados PLUWIN. Também foram utilizados os dados dos postos pluviométricos existentes no banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA,

A partir desta primeira análise sobre a Bacia do Rio Una, selecionamos os postos a serem utilizados no projeto.

Tabela 1. Estações pluviométricas e PCD's selecionadas

Código	Localidade	Tipo/Estação	Coordenadas		Período
			Longitude	Latitude	
314	Barreiros	PCD	35°11'37"	8°49'25"	2002-2010
106	Barreiros	Pluviômetro	35°11'25"	8°48'45"	1963-2010
376	Palmares	PCD	35°34'7"	8°39'52"	2002-2010
25	Palmares	Pluviômetro	35°34'47"	8°40'42"	1934-2010

Os critérios de escolha para Palmares e Barreiros, foi sua posição de risco, os municípios estão englobados na Bacia do rio Una que já contém um grande histórico de enchentes. Então é necessária uma boa atenção para essas áreas.

2.4 Análise de consistência das séries

Já obtive os dados consistidos, essa função é realizada pela equipe do LAMEPE. Eu estive no laboratório por diversas vezes e acompanhei o trabalho deles, mas os dados que utilizei já estavam prontos para o uso e disponibilizados no banco de dados PLUWIN.

3 Conclusões

3.1 Eventos extremos

Os gráficos 01 e 02 indicam um aumento no número de dias com precipitação acima de 50mm, o que representa um aumento da frequência e intensidade de eventos extremos de chuvas no estado de Pernambuco, particularmente nos municípios localizados na Mata Sul do estado como o caso dos municípios de Barreiros e Palmares.

O conjunto de dados das duas estações acima citadas passou por um controle de qualidade que incluiu consistência espacial e temporal das observações diárias de precipitação e temperatura. O Software utilizado para o processamento e controle de qualidade dos dados foi o RClimdex, que é um programa, baseado no Microsoft Excel, que proporciona um pacote computacional que é usado no cálculo de índices de extremos climáticos para monitorar e detectar mudanças climáticas.

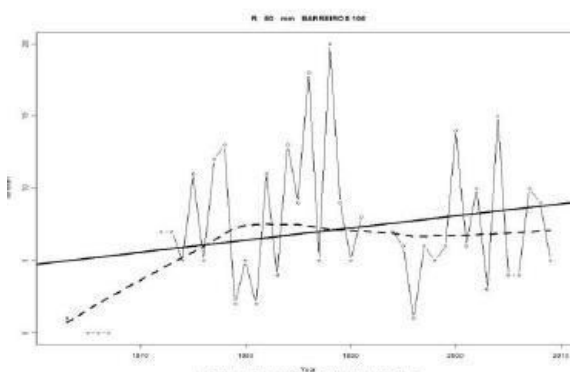


Gráfico 01. Município de Barreiros.

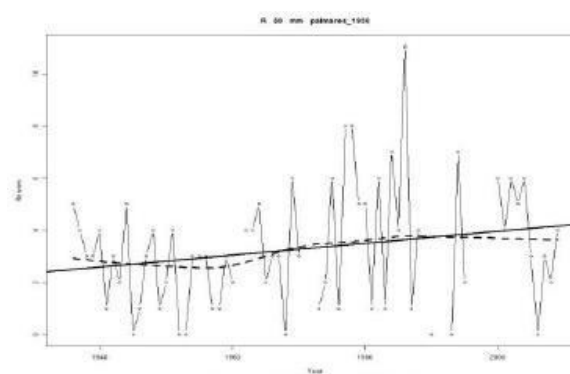


Gráfico 02. Município de Palmares.

3.2 Análise da cheia ocorrida em junho/2010 em Barreiros e Palmares

Comparou-se o ano de 2010 e o ano de 2000 (ano do evento de chuvas intensas mais recente com proporções semelhantes às causadas pelo evento de 2010) com a média de precipitações históricas. Pode-se verificar a anomalia de precipitação ocorrida nesse período.

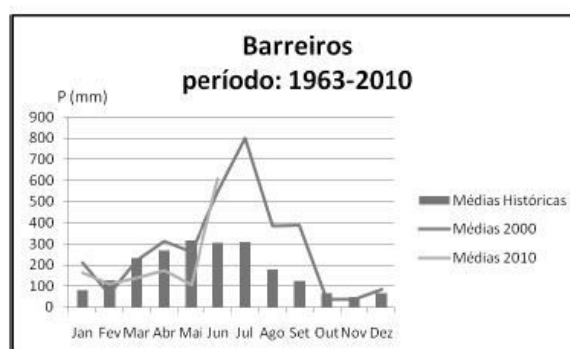


Gráfico 03. Comparação de médias mensais-Barreiros.

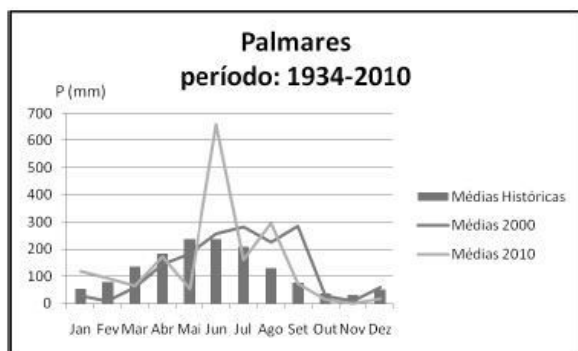


Gráfico 04. Comparação de médias Mensais-Palmares.

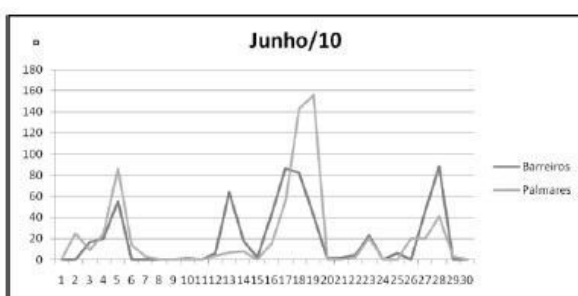


Gráfico 05. Precipitações diárias (mm) em junho-2010.

O evento de cheias de junho de 2010 deve ser analisado considerando-se sua ocorrência durante todo o mês de junho (o acúmulo diário de precipitações ao longo do mês) e não apenas nos três dias de desastres provocados nas cidades pernambucanas. Os registros pluviométricos do mês de junho mostram um período de chuvas muito superiores à média.

Em Barreiros o total precipitado (610,1 mm) foi o dobro da média histórica para junho (306 mm). Entre 17 e 19/06 foram precipitados 210,5 mm; 11 dias foram chuvosos nos 15 dias antecedentes ao evento de chuva intensa.

Em Palmares choveu 659,3 mm em junho, quase o triplo da média histórica 236 mm. Entre 17 e 19/06 foram precipitados 354,5 mm; 11 dias foram chuvosos nos 15 dias antecedentes ao evento de chuva intensa.

Os estragos provocados pelas chuvas de junho/2010 foram proporcionados pelo acúmulo diário de precipitações ao longo do mês. Mostrando que o estudo de máximas diárias é importante, porém não se pode excluir o acúmulo mensal de dados.

3.3 Análise estatística

Foi estabelecida uma série anual de precipitações máximas para as durações 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360,

720 e 1440 minutos e para os tempos de retorno de: 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Como temos dados de 24 h obtidos por pluviômetros, podemos utilizar a metodologia de desagregação da chuva de um dia em chuvas de menor duração, como a proposta pelo Método das Relações como em CETESB.

Para converter a chuva de 1 dia para chuva de 24 horas, ao invés de utilizar o valor de 1,14 proposto em CETESB e que corresponde à cidade de São Paulo, optou-se por usar o valor de 1,10 obtido por TORRICO para o Brasil, que além de ser um fator de ordem nacional, apresenta uma proximidade mais realista com o clima do Estado de Pernambuco, por ser menor que o parâmetro de CETESB.

Elaborada uma série anual para cada duração, deve-se verificar que todos os valores de cada série eram superiores aos ditos valores mínimos.

Procede-se o ajuste dos valores a uma distribuição de probabilidade.

A distribuição estatística utilizada neste estudo foi a de valores extremos, também conhecida por Gumbel. O modelo foi escolhido devido ao seu bom desempenho em outros trabalhos sobre chuvas intensas, sendo na maioria dos casos o que melhor se ajusta aos dados das séries, quando comparado a outras distribuições.

Após aplicar a distribuição de ajuste se dividem as alturas pluviométricas por suas durações correspondentes, obtendo assim, as intensidades máximas médias das precipitações.

Tabela 2. Intensidades máximas (mm/h) - Distribuição de Gumbel. (Barreiros)

Duração	Período de retorno					
	2	5	10	20	50	100
5 min	151,8072	204,8193	240,964	274,6988	319,2771	353,012
10 min	124,375	169,375	198,75	226,875	263,125	290,625
20 min	90,60606	123,0303	144,545	164,84848	191,5152	211,5152
30 min	73,8	100,2	117,6	134,4	156	172,2
1 h	45,15	61,37	72,11	82,41	95,74	105,73
2 h	28,15	38,45	45,25	51,8	60,25	66,6
3 h	21,33333	29,03333	34,1333	39,033333	45,36667	50,1
6 h	14,26667	19,35	22,7167	25,95	30,13333	33,25
12 h	8,408333	11,40833	13,4	15,308333	17,775	19,625
24 h	4,955833	6,720417	7,88917	9,0095833	10,46042	11,5475

Para comparar os resultados obtidos pela distribuição de Gumbel, foram calculadas as intensidades máximas através da equação IDF obtida para a Bacia do Rio Una.

$$i = \frac{1461,34977r^{0,1632}}{(d + 20)^{0,88077r^{0,01994}}}$$

Fonte: Relatório técnico preliminar de três barramentos para o controle de cheias na Bacia do Rio Una –PE (SRH-2002)

Tabela 3. Intensidades máximas (mm/h) – Distribuição de Gumbel. (Barreiros)

Duração (minutos)	Período de Retorno (anos)					
	2	5	10	20	50	100
5	93,5	104,6	113,9	124	138,6	150,8
10	79,5	88,8	96,5	104,9	117	127,1
20	61,6	68,5	74,3	80,5	89,5	97
30	50,5	56,1	60,7	65,6	72,8	78,6
60	33,2	36,7	39,6	42,6	47	50,6
120	20,2	22,2	23,8	25,5	27,9	29,9
180	14,7	16,1	17,2	18,4	20	21,4
360	8,3	9	9,6	10,2	11	11,7
720	4,6	5	5,2	5,5	5,9	6,3
1440	2,5	2,7	2,8	3	3,2	3,3

Percebemos que os valores encontrados para Barreiros através da distribuição de Gumbel para Barreiros são superiores aos valores obtidos por meio da equação IDF para a região da Bacia do Rio Una.

Referências

- [1] CPTEC/INPE, Evento de chuva intensa entre Pernambuco e Alagoas ocorrido em junho de 2010. Disponível em: <http://www7.cptec.inpe.br/~upload/arquivo/nordestejunho2010.pdf>
- [2] SANTOS; R. A. Aguaceiros em Recife – PE: uma climatologia de 36 anos. In: X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília, 1998. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/13-ec475e56e878e4dcc0fa6ad35aa09b18.pdf>. Acesso em: 15 jul 2010
- [3] SEPLAN (2006). Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco Nº 3. Secretária de Planejamento. Recife, 85 p.
- [4] SRH (2002). Relatório técnico preliminar de 3 barramentos para o controle de cheias na Bacia do

Rio Una-PE. Secretária de Recursos Hídricos. Recife.

- [5] TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia - Ciência e Aplicação. Porto Alegre, Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993.

Recuperação de Imagens baseadas na textura

Yamashita, B. H. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
bhmy@ecomp.poli.br

Fernandes, B. J. T.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo *O reconhecimento de características que descrevem uma imagem de maneira concisa e eficiente é uma tarefa relativamente complexa para ser executada. O objetivo deste trabalho é demonstrar como a descrição pode ser feita a através da textura de imagens. Será mostrado como os descritores de textura funcionam e com um estudo comparativo entre seus resultados foi realizado a fim de obter a melhor descrição.*

Abs-tract *The recognition of features that describe an image concisely and efficiently is a relatively complex task to be performed. The objective of this study is to demonstrate how an image description can be obtained through the texture images. It will be demonstrated how the texture descriptors operate and a comparative study between the results was carried out to obtain the best description.*

1 Introdução

Analisar imagens em meio digital é de fundamental importância para diversas áreas de conhecimento. O Processamento Digital de Imagens (Gonzalez [11]) é uma área de pesquisa responsável por tal função. Utilizado amplamente na medicina, artes, biologia, automação industrial, microscopia, dentre outros, é uma área que vem crescendo bastante no ramo de pesquisas, cujo seu principal objetivo é obter uma caracterização que contenha informação suficiente para distinguir regiões, objetos ou texturas de interesse, de forma confiável e com o mínimo de intervenção humana (Pedrini [15]).

Diversos trabalhos podem ser citados relacionando o estudo de análise de imagens com as muitas áreas de sua aplicação. Na medicina, por exemplo, Petrakis [16] utilizou grafos para representar as relações espaciais entre objetos voltados para área de saúde. No reconhecimento de escritas por regiões Smith [7] realizou um trabalho sobre a análise de imagens para detecção de caracteres (*strings*). Reaes [9] mostrou como pode ser feito Reconhecimento de faces em fotos 3x4, onde são comparadas duas técnicas de Segmentação, uma baseada em bordas e outra baseada na cor da pele. No campo da arte, o principal software utilizado para manipulações de imagens o Adobe Photoshop, explorado por Thomson [19], é bastante utilizado para área de design e possui diversos algoritmos com base em algoritmos de Processamento de Imagens já programados. Haralick [12] e Abbadeni [1] propuseram descrições de textura, através de cálculos matemáticos, tornando possível obter as características de uma imagem através de descritores. Em Haralick [12][13] é realizado um trabalho explorando como tema o computador e a visão de robôs, onde são propostos técnicas de visão computacional. Em Asdanlogun [4] a Recuperação de Imagens é utilizada para busca de vídeos (que é um conjunto de imagens seqüenciadas).

É possível observar que as aplicações para Processamento de Imagens é bastante ampla, extensa e permite a resolução de diversos problemas que envolvam imagens e ainda pouco exploradas. Novas e antigas pesquisas de temas relevantes ainda podem ser feitas e melhoradas em cima da área de Processamento de Imagens.

A internet, por exemplo, é um dos meios de comunicação e de transmissão de dados em que o Processamento de Imagens é bastante aplicado. CBIR (*Content-Based Image Retrieval*, ou Recuperação de Imagem baseada no conteúdo), por exemplo, é muito utilizada em buscas por imagens em sites como Picasa (Google) e Flickr (Yahoo). Tema que foi amplamente discutido em Datta [10] e será o foco desta pesquisa para Recuperação de Imagens de Textura.

Neste trabalho, foi realizada uma comparação dentre os descritores propostos por Haralick [12], baseado na matriz de co-ocorrência, e Abbadeni [1], baseado na função de autocorrelação. Vários testes foram realizados a fim de encontrar uma melhor descrição (com maior taxa de acerto) para a Recuperação de Imagem baseada na textura.

2 Metodologia utilizada

As ferramentas de estudo utilizadas para a realização dos testes foram o programa MatLab (mathworks.com) e Eclipse (eclipse.org), este segundo tendo como suporte para Linguagem Java (oracle.com). Ambos possuem uma ampla biblioteca para estudo em Processamento Digital de Imagens e permitiram realizar o estudo prático para obtenção dos resultados neste trabalho.

Como ferramenta de pesquisa, os sites do IEEE (ieee.org) e ACM (acm.org), sites acadêmicos com artigos renomados de diversas áreas em tecnologia, foram utilizados juntamente com os livros de Gonzalez [11] e Pedrini [15].

Nos testes, foi utilizado o banco de dados de Brodatz [6], onde é possível encontrar várias imagens ricas em texturas, que serviram como base para este estudo de Recuperação de Imagens. Apesar de ser antigo, ele é utilizado por muitos pesquisadores na área de Processamento de Imagens. Na fig. 1 alguns exemplos de imagens do banco.

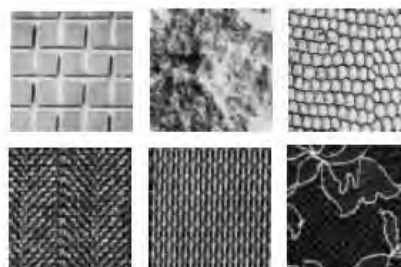


Fig. 1. Exemplos do Banco de Brodatz(1966).

Para realizar o cálculo das similaridades obtidas nos resultados foi utilizada a curva de *recall*, que é sempre utilizada nas pesquisas de Recuperação de Imagens para verificar os resultados.

3 Recuperação de Imagem baseada no Conteúdo (CBIR)

A internet tornou-se a principal ferramenta de busca utilizada para buscas. Em Datta [10], uma análise é feita mensurando todos os tipos de usuários e suas pesquisas

relacionadas. Foi observado que a grande maioria das buscas pode ser realizada por base em palavras-chave, quando se trata de textos. A grande dificuldade está quando esta busca depende do reconhecimento de imagens, que é onde a CBIR (Recuperação de Imagens Baseada no Conteúdo) é empregada. Onde é utilizada? Como funciona?

Seus os métodos para reconhecimento de padrões não são nada triviais (Datta [10]) tanto em termos de algoritmos e de utilização, pois tratam com operações de matrizes. A idéia principal de um sistema de Recuperação de Imagens por Imagem é de que, dada uma imagem, o sistema deverá retornar outras com texturas similares. Em outras palavras, se uma imagem possui uma textura de madeira, outras, com esta mesma textura deverão ser retornadas do banco de dados. Em Aigrain [3], Rui [17], Smeulders [18] e Snoek [8] a Recuperação de Imagens é bem analisada e discutida quanto ao estado da arte e suas aplicações. Porém como calcular esta similaridade?

Existe uma propriedade da imagem, denominada de textura. Segundo Haralick [12] uma imagem de textura é descrita pelo número de tipos de suas primitivas com uma organização espacial, ou seja, uma informação visual que permite a identificação de uma dada imagem.

Em Gonzalez [11] e Pedrini [15] a textura é tratada com diversas análises. Na Recuperação de Imagens, essas análises da textura tornam possível a realização de cálculos matemáticos para, com valores numéricos, descrever uma imagem. Diversas características podem ser exploradas em Haralick [12] e Abbadeni [1], nas quais são propostos diversos descritores responsáveis pela obtenção dessas características presentes na textura. A função destes descritores é de descrever as texturas permitindo que, depois de processadas as características (contraste, homogeneidade, entre outras) é possível realizar cálculos matemáticos para encontrar a similaridade entre as imagens.

4 Análise de Texturas

Definido o processo da metodologia utilizada para a curva de *recall* os detalhes sobre o mesmo poderão ser analisados. A análise de Textura é tratada em Pedrini [15] e Gonzalez [11] relacionando vários cálculos com bases estatísticas a fim de obter valores das características.

Porém, antes de descrever como funcionam os descritores de textura, é preciso demonstrar como funcionam o filtro de Gabor e os Descritores de Textura de Haralick [12] e Abbadeni [1], mencionado no processo para obtenção dos resultados.

4.1 Filtro de Gabor

Explorado por Afshang [2], o filtro de Gabor é uma técnica que pode ser utilizada para melhorar o resultado obtido na curva de *recall* (Zhang [20]). Sua aplicação diminui consideravelmente o ruído na imagem dependendo dos parâmetros nele utilizados.

Matematicamente, para utilização de qualquer filtro em uma imagem, basta que, depois de calculado sua máscara, uma operação de convolução seja realizada entre o sinal da imagem com o sinal do filtro. Feito este processo, uma nova imagem filtrada é retornada. Na equação 1, a fórmula do Filtro de Gabor.

$$G(x, y; f, \theta) = \exp \left[\frac{1}{2} \left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right) \right] \cdot \exp(2\pi \cdot j \cdot f \cdot x) \quad (1)$$

Para facilitar sua programação, a regra de Euler deve ser aplicada, como mostrado na equação 2.

$$\exp(2\pi \cdot j \cdot f \cdot x) = \cos(2\pi \cdot j \cdot f \cdot x) + j \cdot \sin(2\pi \cdot j \cdot f \cdot x) \quad (2)$$

Este filtro é composto a partir do produto entre uma função gaussiana e uma função harmônica (sinusoide). Nela, temos quatro parâmetros: σ_x^2 e σ_y^2 são os desvios padrões que vêm da equação gaussiana, f é a frequência da função harmônica definida sobre a função de gabor e θ representa a indicação, e nele que se define se o filtro terá um bom resultado ou não, como demonstrado nas fig. 2.

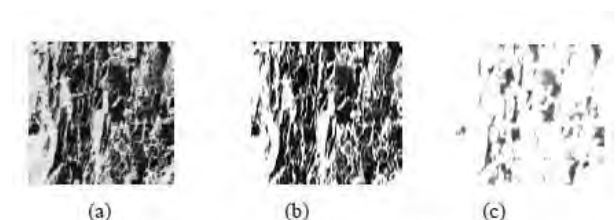


Fig 2. (a) Imagem Original. (b) e (c) Imagens Filtradas com o Filtro de Gabor.

Na fig. 2.b o filtro foi utilizado com os parâmetros corretos. Por outro lado a fig. 2.c teve uma utilização errônea do filtro. Como é possível notar, o primeiro resultado foi muito mais satisfatório que o segundo. A diferença entre eles deve-se a orientação escolhida para cada caso, $\theta = \pi / 10$ e $\theta = \pi / 2$ respectivamente. Tais números dados aos parâmetros foram puramente experimentais, já que para algumas imagens essa variação na indicação pode mudar de imagem para imagem, assim como os desvios e frequências. Para os resultados desta pesquisa, foram utilizados os parâmetros: desvios padrões foram fixados em

4 e 20 para x e y respectivamente, frequência em 20 e indicação em (Afshang, [2]).

4.2 Descritores de Textura Baseados na Matriz de Co-ocorrência

Após o estudo sobre o filtro de Gabor, o foco deste trabalho prossegue para seu problema central: a descrição de texturas. Iniciando pelos descritores baseados na matriz de co-ocorrência, propostos por Haralick [12]. Apesar de serem antigos, seus descritores são utilizados como referência em muitas pesquisas recentes que visam à descrição da textura (Abbadeni [1]). Foram propostas mais de 14 propriedades de características, porém Baraldi [5] mostrou que apenas seis eram realmente relevantes. Dessas seis, cinco descritores foram programados: Máxima Probabilidade, Contraste, Homogeneidade, Uniformidade e Correlação.

Para poder calculá-los, é necessário obter a matriz de co-ocorrência $p(i, j)$. Ela é obtida através da frequência entre tons vizinhos. O armazenamento dessas frequências é feito como mostrado na Fig. 3.

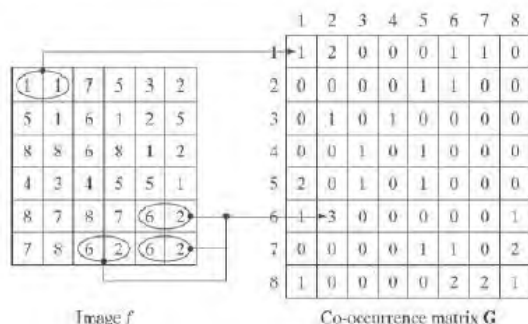


Fig 3. Imagem ilustrativa do cálculo da matriz de Co-ocorrência G, retirada de Gonzalez (2010).

Calculada a matriz G, é necessário realizar sua normalização, dada como mostrado na equação 3.

$$p(i, j) = \frac{g(i, j)}{n} \quad (3)$$

Onde é a soma das frequências entre os tons de cinza. Depois de calculada a Matriz de co-ocorrência da imagem, a descrição pode ser calculada. Na página seguinte, uma síntese dos descritores estudados, propostos por Haralick [12], com suas respectivas equações:

1. Máxima Probabilidade: Medida mais simples proposta por Haralick [12], consta na observação do maior valor contido na matriz de co-ocorrência e é dada pela equação 4.

$$f_{maxProb} = \max_{i,j} (p(i, j)) \quad (4)$$

2. Contraste: Quando uma imagem apresenta alta frequência entre tons de cinza altos e baixos possui um alto contraste. Em termos da matriz de co-ocorrência, quanto há uma alta concentração de elementos em torno da diagonal principal. Seu cálculo é dado pela equação 5.

$$f_{conH} = \sum_{i=0}^{Hg} \sum_{j=0}^{Hg} (i - j)^2 \cdot p(i, j) \quad (5)$$

3. Homogeneidade: Mede a descrição dos pixels. Quanto mais homogênea a textura, maior seu valor de homogeneidade. Essa medida é apresentada uma correlação inversa com o contraste, pois possui maior concentração na diagonal principal da matriz de co-ocorrência e é dada pela equação 6.

$$f_{hom} = \sum_{i=0}^{Hg} \sum_{j=0}^{Hg} \frac{1}{1 + (i - j)^2} \cdot p(i, j) \quad (6)$$

4. Segundo Momento Angular ou Uniformidade: Como já dito em seu nome, este descritor mede a uniformidade de uma imagem. Em termos de matriz de co-ocorrência, ela possui seus valores bem distribuídos ao longo da mesma. Sua fórmula é definida pela equação 7.

$$f_{sma} = \sum_{i=0}^{Hg} \sum_{j=0}^{Hg} p^2(i, j) \quad (7)$$

5. Correlação: Mede a dependência linear entre dois tons de cinza. Valores altos desta característica indicam uma existência linear entre os pares de tons de cinza. É dada pela equação 8.

$$f_{corr} = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y} \sum_{i=0}^{Hg} \sum_{j=0}^{Hg} (i - \mu_i)(j - \mu_j) p(i, j) \quad (8)$$

Onde μ_i e μ_j é dado pelas equações 9.

$$\begin{cases} \mu_i = \sum_{i=1}^{Hg} i \cdot \sum_{j=1}^{Hg} P(i, j) \\ \mu_j = \sum_{j=1}^{Hg} j \cdot \sum_{i=1}^{Hg} P(i, j) \end{cases} \quad (9)$$

4.2 Descritores de Textura Baseados Função de Autocorrelação

Em janeiro de 2011, Abbadeni [1] teve o seu artigo publicado, propondo novos descritores de texturas baseados na função de autocorrelação. Dois de seus descritores foram estudados. Porém, antes de começar a tratar sobre os seus descritores, um estudo em cima da função de autocorrelação foi necessário. Sua fórmula é dada pela equação 10.

$$f(d_i, d_j) = \frac{1}{(n-d_i)(m-d_j)} \sum_{i=0}^{n-d_i-1} \sum_{j=0}^{m-d_j-1} I(i, j) \cdot I(i + d_i, j + d_j) \quad (10)$$

Onde I é a matriz representando os valores de pixels da imagem, $0 \leq d_i < n$ e $0 \leq d_j < m$. d_i e d_j representam o mapeamento das linhas e colunas da função, respectivamente. Diferentemente da Matriz de Co-ocorrência, que realiza suas operações com relação a frequência entre pixels vizinhos, a Função de Autocorrelação verifica a interação entre regiões. Abbadeni [1] a escolheu por causa de sua periodicidade equivalente e que tem como característica uma lenta diminuição apresentando poucas variações.

1. Rugosidade: De acordo com o Abbadeni [1], a própria função de autocorrelação por si só, já traz informações de rugosidade. A dedução e explicação, disponíveis em seu trabalho, mostram que esta característica depende da quantidade de máximos presentes na função de autocorrelação. É dada pela equação 11.

$$C_s = \frac{1}{\frac{1}{2} \times \left(\frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} Max_x(i, j)}{n} + \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} Max_y(i, j)}{m} \right)} \quad (11)$$

Onde $Max_x(i, j)$ e $Max_y(i, j)$ foram obtidos pelo cálculo dos máximos utilizando derivadas parciais em x e y da função de autocorrelação, respectivamente.

2. Ocupação: Possui uma relação inversa com a rugosidade. É calculada a partir do resultado obtido na Rugosidade de uma dada imagem. Seu cálculo é dado pela equação 12.

$$f_{busy} = 1 - C_s^{1/a} \quad (12)$$

Onde $a = 4$, segundo Abbadeni [1], dentre os vários valores testados, este foi o que obteve melhores resultados.

5 Resultados obtidos

O banco de imagens utilizadas continha um total de 60 imagens, com 512×512 pixels em suas dimensões. Um algoritmo para dividir essas imagens em sub-imagens, denominadas de classes, com 128×128 pixels de dimensão, ou seja, para cada imagem, 16 classes foram produzidas. Na fig. 4 mostra uma ilustração de como foi feito o processo de obtenção das classes.

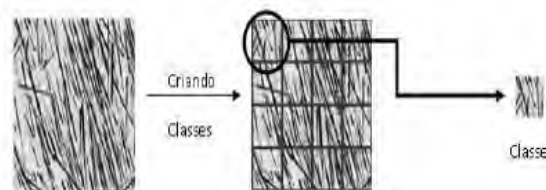


Fig. 4. Imagem ilustrativa de como as classes foram obtidas

Com as classes obtidas, o filtro de Gabor (Afshang [2]) é aplicado para reduzir os ruídos nas classes, e então, as características são alcançadas com os descritores propostos por Abbadeni [1] e Haralick [12]. Com essas características armazenadas, a distância euclidiana é calculada em cima desses valores para uma dada classe. Obtidas as distâncias, ordenam-se todas as distâncias das classes de forma crescente (do mais similar ao menos similar). Com a ordenação, verificam-se quais classes daquelas mais próximas para calcular a curva de *recall* (Zhang [20]) para uma classe. No eixo X, estão as classes ordenadas e no eixo Y os acertos (classes obtidas de uma mesma imagem matriz).

Realizado todo este processo para uma classe, o mesmo é feito para as outras 959 classes, tendo a curva de *recall* geral como a média entre as 960 curvas de *recall* para cada classe. Na fig. 5, pode ser observado o esquema ilustrativo de todo experimento para obtenção das curvas.

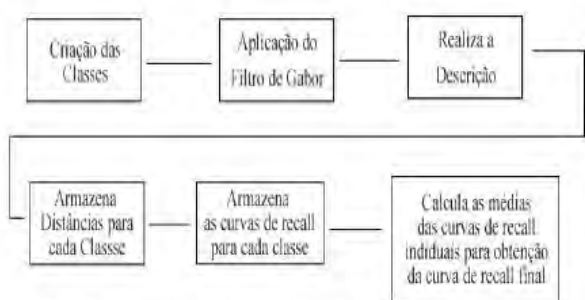


Fig 5. Esquema de como os experimentos foram realizados

Como primeira medida para analisar os resultados obtidos, a descrição do banco de imagem de Brodatz [6], foi realizada utilizando um descritor por vez. É importante frisar que este estudo comparativo serviu para verificar se os novos descritores propostos por Abbadeni [1] seriam relevantes diante dos antigos descritores de Haralick [12]. Realizando a utilização de cada descritor no banco de imagem com 960 classes, o resultado dado por cada curva de *recall* foi dado pelo que está sendo mostrado na fig. 6.

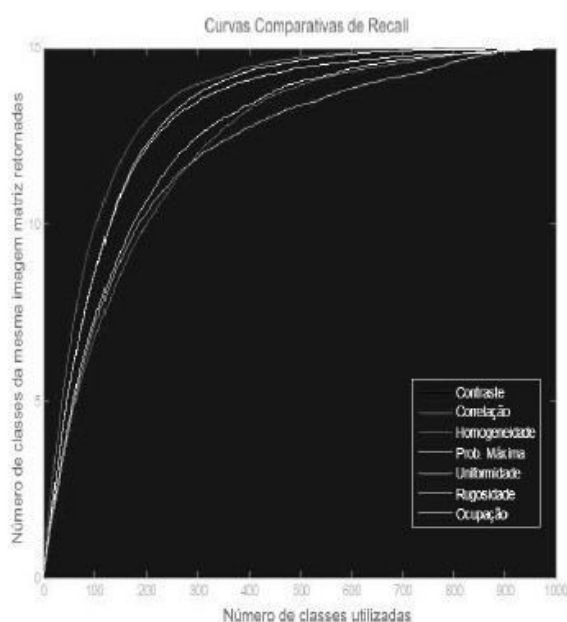


Fig. 6. Comparando curvas de Recall obtidas individualmente para cada descritor de textura

O melhor resultado, que é caracterizado pela curva de maior área, observando as curvas de *recall*, foi o da descrição de Correlação (em vermelho) de Haralick [12]. As descrições de Ocupação (em beje) e Rugosidade (em dourado), propostas por Abbadeni [1], ficaram em segundo e terceiro lugar respectivamente. Mostrando que a proposta de novos descritores baseada na função de Autocorrelação foi válida para o experimento.

Restava somente, tentar realizar uma descrição que superasse o descritor de Correlação. Então, experimentalmente, foi realizada a combinação das características. Várias combinações foram testadas, mas ficou avaliado que as descrições combinadas com as que ficaram abaixo das três primeiras, não conseguiram superar a curva de *recall* obtida pela Correlação. Restou combinar a descrição de Correlação com as outras duas melhores, baseadas na função de Autocorrelação. E o resultado foi surpreendente, superando a descrição de Correlação. O que pode ser explicado, já que havendo a combinação entre os descritores de alto índice de informações, mais requisitos podem ser processados e calculados, como pode ser observado na fig. 7.

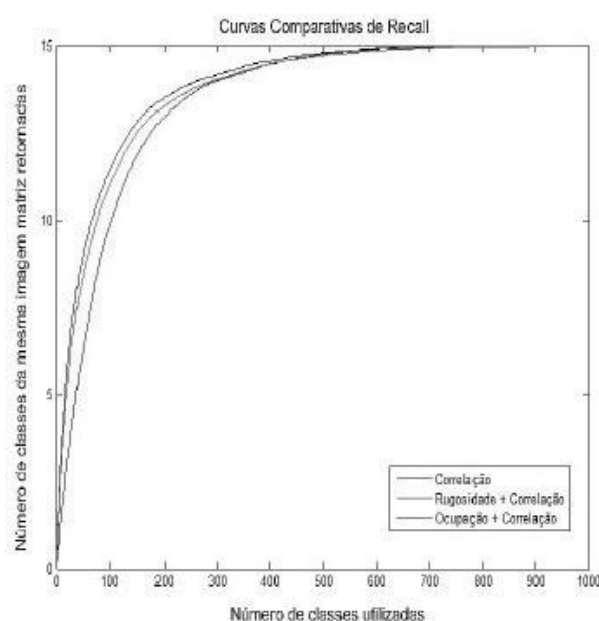


Fig. 7. Curvas de recall combinadas em comparação com a curva do melhor descritor obtido

Portanto, como pode ser observado, combinando os melhores descritores com a Correlação pôde-se obter um resultado melhor do que a Correlação por si só. Para o acerto de 10 classes, por exemplo, a combinação com Ocupação precisou de 66 classes, contra 77 da combinação com Rugosidade e 103 da Correlação.

Com estes dados e análises feitas durante este trabalho, Portanto, como pode ser observado, combinando os melhores descritores com a Correlação pôde-se obter um resultado melhor do que a Correlação por si só. Para o acerto de 10 classes, por exemplo, a combinação com Ocupação precisou de 66 classes, contra 77 da combinação com Rugosidade e 103 da Correlação.

5 Conclusão

Com estes dados e análises feitas durante este trabalho, ficou demonstrado que o melhor descritor para Recuperação de Imagem por imagens foi combinar o descritor de Correlação com o de Ocupação. É de surpreender como descrições propostas nos anos 70, ainda hoje, são utilizadas como fonte de pesquisa, podendo até serem combinados com os novos métodos para a obtenção de melhores resultados.

O estudo de filtros também foi um período de amplo aprendizado, principalmente para o estudo de sinais, assim como suas operações e propriedades. Destaque para o filtro de Gabor, onde sua programação foi relativamente não-trivial. Felizmente, quando obtido o algoritmo final, a filtragem foi amplamente testada e aproveitada não só para a análise das curvas de *recall*, como também para realce de imagens. E como previsto, os resultados das curvas melhoraram bastante o com sua propriedade na redução de ruídos.

Para pesquisas futuras, fazer novas combinações com os descritores seja com já propostos ou novos que estejam por vir e a utilização de outros parâmetros para o filtro de Gabor talvez possam melhorar ainda mais os resultados que foram obtidos nesta pesquisa, que certamente foi bem proveitosa e de amplo conhecimento da área de Processamento Digital de Imagens e de CBIR.

Referências

- [1] Abbadeni, N. (2011) "Computational Perceptual Features for Texture Representation and Retrieval", In: IEEE Transactions on Image Processing.
- [2] Afshang, M., Helfroush, M.S. e Zahernia, A., (2009) "Gabor Filter Parameters Optimization for Texture Classification Based on Genetic Algorithm" IEEE, In: Machine Vision, 2009. ICMV.
- [3] Aigrain, P., Zhang, H., e Petkovic, D. (1996) "Content-based representation and retrieval of visual media: A review of the state-of-the-art" Multimed. Tools Appl. 3, 3, 179–202.
- [4] Asdalogan, Y. e Yu, C. T. (1999) "Techniques and Systems for Image and Video Retrieval" IEEE Transactions, Vol. 11, No. 1. Pp 56-63.
- [5] Baraldi, A. e F. Parmiggiani, 1995. "An investigation of the textural characteristics associated with grey level co-occurrence matrix statistical parameters", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. 33, 2, pp. 293-304.
- [6] Brodatz, P. (1966) "Textures: A Photographic Album for Artists and Designers", In: New York, Dover.
- [7] Smith, J. e Chang, S. (1997) "Integrated spatial and feature image query" IEEE Trans. Knowl. Data Eng. 9, 3, 435–447.
- [8] Snoek, C. G. M. and Worring, M. (2005) "Multimodal video indexing: A review of the state-of-the-art" Multimed. Tools Appl. 25, 1, 5–35.
- [9] Reaes, F. M. (2006) "Reconhecimento de Faces: Projeto Beholder" Monografia, Universidade de São Paulo.
- [10] Datta, R., Joshi, D., Li, J., e Wang, J. (2008) "Image Retrieval: Ideas, Influences, and Trends of the New Age", In: ACM Comput. Surv. 40.
- [11] Gonzalez, R. C. e Woods, R. E. (2010) "Digital Image Processing", Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, Estados Unidos.
- [12] Haralick, R., Shanmugam, K. and Dinstein, I. (1973) "Textural features for image classification" In: IEEE Trans. Syst.
- [13] Haralick, R. e Shapiro, L. G. (1992) "Computer and Robot Vision", Vol. 1, Addison-Wesley, Reading, MA, Estados Unidos.
- [14] Haralick, R. e Shapiro, L. G. (1993) "Computer and Robot Vision", Vol. 2, Addison-Wesley, Reading, MA, Estados Unidos.
- [15] Pedrini, H. e Schwartz, W. R. (2008) "Análise de Imagens Digitais – Princípios, Algoritmos e Aplicações".
- [16] Petrakis, E. e Faloutsos, A. (1997) "Similarity searching in medical image databases". *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.* 9, 3, 435–447.
- [17] Rui, Y., Huang, T., e Chang, S. (1999) "Image retrieval: Current techniques, promising directions and open issues" J. Visual Commun. Image Represent. 10, 1, 39–62.
- [18] Smeulders, A. W., Worring, M., Santinni, S., Gupta, A. e Jain, R. (2000) "Content-based image retrieval at the end of the early years" IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 22, 12, 1349–1380.
- [19] Thomson, W. S. (2001) "Digitally Manipulated Images and Painting" IEEE, Springfield, Missouri, Estados Unidos.
- [20] Zhang, J., e Ye, L. (2009) "Ranking Method for Optimizing Precision/Recall of Content-Based

Image Retrieval" In: Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing, 2009. UIC-ATC '09. Symposia and Workshops on. pp. 356 - 361.

Comparativo dos benefícios das Redes Sociais para a educação empreendedora com base em estudo qualitativo com empreendedores locais

Cavalcanti, J. A.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
jheymesson.c@mail.com

Cruz Neto, G. G.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
genesio@ecompc.com.br

Resumo

Empresas de sucesso estão reconhecendo e privilegiando cada vez mais profissionais com características empreendedoras. Por isto, a educação empreendedora hoje passa a ter um papel fundamental na formação dos jovens, apesar de existirem ainda poucas metodologias educacionais voltadas ao incentivo da criatividade e da autonomia dos alunos. Em paralelo, a sociedade mundial vivenciou nos últimos anos uma revolução causada pelo surgimento da internet e suas redes sociais. Este artigo apresenta uma análise comparativa entre as redes sociais mais usadas em relação às suas potencialidades para o empreendedorismo, tendo como base um estudo qualitativo feito com empreendedores locais. O objetivo foi de traçar requisitos que possam melhorar a rede social "Células Empreendedoras", uma rede em formação especificamente voltada para a educação empreendedora de jovens e professores universitários.

Abstract

Successful companies are recognizing and focusing more and more professionals with entrepreneurial characteristics. Therefore, entrepreneurial education today is to have a key role in educating the young, although there are still few educational methodologies aimed at encouraging creativity and autonomy of students. In parallel, the global society in recent years experienced a revolution caused by the emergence of the Internet and their social networks. This article presents a comparative analysis of social networks commonly used in relation to their potential for entrepreneurship, based on a qualitative study done with local entrepreneurs. The objective was to trace requirements that may improve the social network "cells Entrepreneurs", a network training specifically for the education of youth and entrepreneurial academics.

1 Introdução

Para Dolabela (1999), os empreendedores criam um novo modelo de sistemas de valores na sociedade, onde os comportamentos individuais dos seus participantes são fundamentais, portanto, a ação do empreendedor é a base do desenvolvimento econômico. Num mercado cada vez mais competitivo, as empresas passam a exigir de seus profissionais características empreendedoras.

Por esta razão a educação empreendedora passa a ter um papel fundamental na formação do ensino superior. No entanto, pouco se observa o uso de metodologias educacionais voltadas ao incentivo da criatividade e da autonomia dos jovens nas faculdades e universidades brasileiras [Santos 2010].

Em paralelo, a sociedade mundial vivenciou nos últimos anos uma revolução social causada pelo surgimento da internet e suas redes colaborativas (www.gilgiardelli.com.br). “As novas mídias sociais estão permitindo o surgimento de ações conjuntas de mudança social, estamos em uma nova era de generosidade e criatividade coletiva” [Giardelli 2010].

Novas ferramentas de colaboração surgem a cada dia para efetivação da aprendizagem [Machado e Tijiboy, 2005; Gomes, Martins e Melo 2010]. Ambientes virtuais educativos baseadas em blogs e redes sociais estarão cada vez mais disponíveis para uso por parte de professores e alunos.

No entanto, constata-se que os modelos educacionais de formação empreendedora trabalhados atualmente nas instituições de ensino focam-se muitas vezes apenas na operacionalização de planos de negócios, e pouco atuam nas questões comportamentais associadas a criatividade, autonomia e atividades socioculturais.

Este artigo apresenta uma análise comparativa entre as redes sociais mais usadas em relação às suas pontencialidades para o empreendedorismo e a educação empreendedora, tendo como base um estudo qualitativo feito com empreendedores locais. O objetivo foi de traçar requisitos que possam melhorar a rede social “Células Empreendedoras”, uma rede em formação especificamente voltada para a educação empreendedora de jovens e professores universitários [www.celulasempreendedoras.com.br].

A pesquisa qualitativa realizada teve como base o método Grounded Theory [Strauss e Corbin 1998]. O mesmo foi inicialmente usado como método de eliciação de requisitos nos trabalhos da tese de doutorado do co-autor deste

artigo [Cruz Neto, Gomes e Castro 2005; Cruz Neto, Gomes e Oliveira 2007; Cruz Neto, Gomes e Castro 2008; Cruz Neto 2008].

2 Comportamento Empreendedor & as Redes Sociais

O SEBRAE (Sebrae 2011), um dos maiores órgãos do Brasil de apoio ao empreendedor, fez um estudo colocando em evidência 10 competências básicas do empreendedor e que são ressaltadas por Leite (2002) e por MARIANO (2008), são elas:

1. Busca por oportunidades e iniciativas;
2. Persistência;
3. Comprometimento;
4. Exigência na qualidade e na eficiência;
5. Saber correr riscos calculados;
6. Planos e metas;
7. Busca por informações;
8. Planejamento e monitoramento;
9. Persuasão e rede de contatos;
10. Independência e auto-confiança.

A maioria dos autores de livros sobre empreendedorismo, como Dolabella (1999), não divergem dessas competências, assim é muito importante a valorização e a aceitação das mesmas. Cada pessoa tem suas próprias características e o mais importante é desenvolver as competências que já possui e aos poucos ir adquirindo as demais. O projeto das Células Empreendedoras, por exemplo, promove as seguintes competências básicas citadas na lista: busca por oportunidades e iniciativas (1), persistência (2), comprometimento (3), planos e metas (6), busca por informações (7), planejamento e monitoramento (8), rede de contatos (9) e auto-confiança (10).

A característica que o projeto mais visa desenvolver é a auto-confiança, através de encontros presenciais para troca de informações e conhecimentos de forma colaborativa com pessoas que vivem a mesma realidade e buscam empreender seus sonhos de vida profissional. Através desses encontros o projeto cresce a cada dia e com os resultados fica cada vez mais evidente que o mesmo tem colaborado para o desenvolvimento de diversos jovens empreendedores.

A ação do empreendedor é a base do desenvolvimento econômico e as redes sociais estão fazendo parte de um recurso indispensável para o empreendedor, pois além de um grande volume de troca de informações, fortalece sua rede de contatos de uma forma muito eficiente.

Para Dornelas (2001) os empreendedores são

- 1) visionários, indivíduos que fazem a diferença,
- 2) sabem explorar as oportunidades, são determinados e dinâmicos,
- 3) dedicados ao trabalho, otimistas e apaixonados pelo que fazem,
- 4) independentes e construtores do próprio destino,
- 5) acreditam que o dinheiro é consequência do sucesso nos negócios,
- 6) possuem liderança incomum,
- 7) sabem construir uma rede de relacionamentos externos à empresa,
- 8) planejam cada passo do negócio, possuem conhecimento,
- 9) assumem riscos calculados e
- 10) criam valor para a sociedade, criando soluções para melhorar a vida das pessoas.

As redes sociais vêm crescendo muito nesses últimos anos, e o seu valor diante da sociedade e de seus grupos aumenta consideravelmente a cada dia. Elas têm se mostrado uma excelente ferramenta, tanto para a comunicação com pessoas do mesmo grupo social, como para o crescimento de cada empreendedor e a projeção de suas idéias para os outros, como referenciado pelo empreendedor Roberto Dantas (codinome) na pesquisa qualitativa realizada:

“é muito importante você definir uma coisa que você quer, e a rede social permite com uma maior facilidade você projetar os seus sonhos para outras pessoas.”; “Ela ajuda na melhor qualidade do empreendedor, que é a conexão social.”.

Assim, uma rede social que integre empreendedores e empresas torna-se um veículo fundamental na formação empreendedora. O projeto de pesquisa aqui proposto visa dar alguns passos para uma melhor concepção desta tecnologia.

Tendo em mente a importância das redes sociais para o empreendedor, faz-se apropriado um estudo sobre as mesmas, no tocante a como elas influenciam positivamente a atividade empreendedora. Para esse trabalho, foram selecionadas as seguintes redes sociais: o Facebook [www.facebook.com.br], o Orkut [www.orkut.com.br], a REDU - Rede Social Educacional [www.redu.com.br] e a o projeto Células Empreendedoras [www.celulasempreendedoras.com.br];

A REDU tem como objetivo o ensino de maneira colaborativa, a rede social das células empreendedoras, por sua vez, tem um foco voltado a educação empreendedora de jovens e professores do ensino superior. Colaborativo. Facebook é a rede social que mais acessada no mundo e o Orkut por ser a mais acessada no Brasil segundo a pesquisa da Google e da Alexa, realizada em dezembro de 2010 (ver figura 01). O gráfico mostra em cores as redes mais usadas no mundo.



Figura 01: Análise das redes sociais mais usadas no mundo

Fonte: Google Trends for Websites e a Alexa.

3 Pesquisa Qualitativa

A pesquisa qualitativa surgiu como um questionamento à obtenção de uma “verdade absoluta” sobre os fenômenos. Pesquisadores qualitativos consideram que a realidade social depende dos atores que a sustentam, por isto o conhecimento que dela podemos obter é uma construção social desses atores [Denzin e Lincoln 1998]. Assim a procura de uma representação exata da realidade é questionável.

Pesquisas qualitativas sobre atividades humanas têm uma longa história de aplicação nas disciplinas humanas da Sociologia, Antropologia, Educação, entre outras. A palavra qualitativa implica o uso de processos e significados que não são examinados (ou mensurados) em termos de

quantidade, grandeza, intensidade ou frequência. Os aspectos essenciais da pesquisa qualitativa consistem na escolha correta de métodos e teorias oportunos, na análise de diferentes perspectivas, nas reflexões dos pesquisadores a respeito de sua pesquisa como parte de um processo de produção de conhecimento, e na variedade de abordagens e métodos usados [Denzin e Lincoln 1998].

Neste caso, o objetivo não é criar modelos universais da realidade, mas construir uma representação comum que promova o diálogo e permita melhor compreender as percepções próprias e dos outros [Ramos 2000]. Existe na pesquisa qualitativa um intuito de questionar conceitos e práticas para explorar e compreender os fenômenos na sua totalidade. Por isto, a validade das representações restringe-se a determinado contexto.

Métodos quantitativos de pesquisa foram originalmente desenvolvidos nas ciências naturais para estudar fenômenos da natureza. Já os métodos qualitativos foram criados nas ciências sociais para permitir os pesquisadores estudarem os fenômenos sociais e culturais. Por isto, métodos qualitativos são projetados para ajudar os pesquisadores a entender as pessoas e seus contextos sociais e culturais [Myers 1997].

Na área de Engenharia de Requisitos, o contexto social e organizacional de um futuro sistema de software precisa ser compreendido de forma exploratória, em sua ampla complexidade. Sabe-se, no entanto, que o objetivo do entendimento de um fenômeno do ponto de vista do usuário e seu contexto social e institucional é largamente perdido quando os dados do campo são quantificados. A pesquisa quantitativa, com seus direcionamentos a verificação de hipóteses pré-definidas, faz com que as circunstâncias e contextualizações do fenômeno deixem de ser analisadas e observadas [Flick 2004].

A pesquisa qualitativa adota métodos mais abertos que façam justiça à complexidade do objeto de estudo. O fenômeno que se busca compreender (no caso o papel da tecnologia nas práticas diárias) não é reduzido a variáveis únicas, mas sim estudado em sua complexidade e totalidade em seu contexto diário [Flick 2004]. Portanto, os campos de estudo não são situações artificiais de laboratório, mas as práticas e interações dos sujeitos na vida cotidiana. A meta da pesquisa é procurar ir além o que já é bem conhecido para descobrir o novo e desenvolver conhecimentos empiricamente embasados [Strauss e Corbin 1998].

Utiliza-se o princípio da abertura para aumentar a complexidade incluindo o contexto onde o fenômeno ocorre. Neste caso, a estruturação teórica do assunto em estudo é construída através do contato com as pessoas que estiveram sendo estudadas. Assim, postula-se que o pesquisador

deve, ao menos, suspender o conhecimento teórico a priori que ele traz ao campo [Flick 2004].

3.1 Grounded Theory

Grounded Theory é uma metodologia qualitativa, fundamentada no interpretativismo, que vem sendo progressivamente mais utilizada pelos investigadores no âmbito das ciências sociais e humanas [Fernandes e Maia 2001], como também na área de pesquisa em Sistemas de Informações [Myers 1997; Orlinkowki 1993; Scott 1998; Pandit 1998]. Em particular ela tem sido utilizada a mais de 20 anos desde o trabalho de Suchman (1987) na área de Interação Homen-Computador e Trabalho Colaborativo Suportado por Computador.

A idéia básica da *Grounded Theory* é ler (e re-ler) um banco de dados textuais (tais como, notas de observações de campo e/ou transcrições de entrevistas) para “descobrir” ou nomear variáveis (chamadas categorias, conceitos e propriedades) e seus relacionamentos, e partir daí construir uma explanação (“teoria”) sobre o fenômeno. É uma abordagem que dá preferência aos dados e ao campo de estudo, em contraste as suposições pré-concebidas, que não devem ser aplicadas ao sujeito que está sendo estudado. As teorias devem ser “descobertas” e formuladas ao lidar com o campo e os dados empíricos a serem encontrados.

Um dos objetivos centrais dos idealizadores da *Grounded Theory* [Strauss e Corbin 1998] era de oferecer uma metodologia de pesquisa não especulativa, cuidadosamente legitimada, de modo a combater o estatuto desvalorizado que as metodologias qualitativas tinham por não garantirem uma verificação adequada [Glaser e Strauss 1967]. Por isso dedicaram um espaço considerável às questões de verificação, salientando aspectos como credibilidade, plausibilidade e confiança que devem ser assegurados pelos cuidados dos pesquisadores em cada passo.

Uma teoria, na *Grounded Theory*, é o resultado que oferece um sentido, ou significado, coerente para um conjunto de dados “brutos” (ex.: notas de campo e transcrições de entrevistas) sobre determinado fenômeno. Importante ressaltar que uma “teoria”, neste caso, difere-se de um referencial teórico, como a Teoria da Atividade, que oferece um conjunto de construtores pré-definidos para o entendimento de práticas humanas.

Teoria, segundo a *Grounded Theory*, são conceitos construídos a partir da interpretação dos dados coletados de uma dada situação, e não um “modelo” (ou “receita”) que pode ser aplicada para a descrição de várias situações.

4 Pesquisa Qualitativa Realizada

A pesquisa qualitativa aqui realizada foi baseada no uso da Grounded Theory como forma de elicitação de requisitos [Cruz Neto 2008].

A pergunta de pesquisa usada como ponto focal de todo o trabalho foi: “quais os benefícios das redes sociais para a formação dos empreendedores”. A partir da motivação em responder esta pergunta central, foram elaborados entrevistas iniciais com um conjunto de questões abertas a serem respondidas por empreendedores locais. Os empreendedores entrevistados seriam incentivados a falarem de tópicos quaisquer associados ao tema, as perguntas serviriam apenas para um direcionamento inicial. A partir do resultado das primeiras entrevistas novas questões eram introduzidas. O roteiro das entrevistas realizadas está no apêndice A. Foram 4 empreendedores entrevistados. Segue dados sobre os mesmos, bem como os codinomes usados para referenciá-los.

Tabela 01: Codinome, idade e experiência dos empreendedores entrevistados

Codinome	Idade (anos)	Experiência (anos)	Atividade como empreendedor
Carlos Ricardo	33	16	Pesquisador de empresa de software
Armando Passos	27	9	Gerente de gravadora
Rodolfo André	22	7	Gerente de empresa que desenvolve portais, com redes sociais embutidas
Roberto Dantas	25	6	Executivo global na China e gerente de empresa que desenvolve jogos para redes sociais.

As entrevistas foram agrupadas e analisadas qualitativamente com auxílio do programa NVIVO (versão 2.0) [www.qsrinternational.com]. As entrevistas foram codificadas seguindo a metodologia Grounded Theory e organizadas em forma de árvore (figura 02), facilitando, dessa

forma, a visualização de todas as entrevistas e seus pontos-chaves para o levantamento dos requisitos. A Tabela 03 contém um descritivo de todas as ferramentas usadas.

Figura 02: Codificação resultante

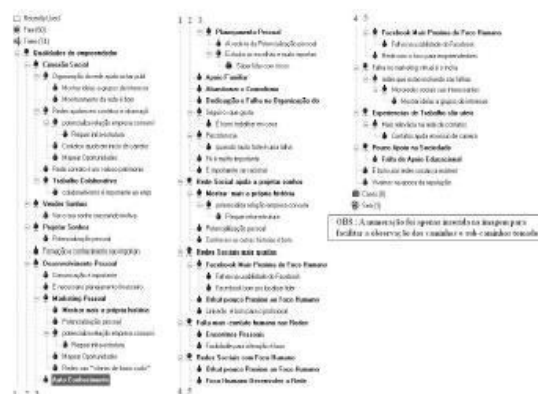


Tabela 02: Ferramentas utilizadas

Tarefa	Ferramenta	Endereço Eletrônico
Coleta	Celular Nokia (funcionalidade e de mídia, gravação)	
Transcrição	Editor de Texto: MS-WORD	www.microsoft.com.br
Análise dos Dados	Software NVIVO 2.0	www.qsrinternational.com
Documentação	Editor de Texto: MS-WORD (versão 2007)	www.microsoft.com.br
	Tratamento das Imagens: MS-Paint (presente na configuração do Windows – edição XP)	www.microsoft.com.br

Os resultados do estudo qualitativo estão distribuídos nos seguintes tópicos a serem abordados nas próximas sessões: 1) Relevância de uma educação empreendedora 2) Requisitos para redes sociais oriundos da pesquisa qualitativa com empreendedores 3) Comparativo de redes sociais com base na pesquisa qualitativa

5 Relevância das Redes Sociais na Educação Empreendedora

Empreendedores que não são associados ao projeto Células Empreendedoras relatam a falta de apoio obtido por parte das universidades para sua educação empreendedora, como citado pelo empreendedor Roberto Dantas (codinome):

“Pesquisador: A sua educação, em que ela foi útil na sua carreira como empreendedor?”

Empreendedor: Não influenciou em nada. As pessoas que você encontra lá só sabem dizer que nada vai ser bom para você, até minha coordenadora, quando eu a encontro hoje ela diz que nunca imaginava que eu iria chegar tão longe. Eu lembro mesmo de professoras minhas, me falando que eu não ia aprender educação empreendedora.

“Estudante: No caso, ao invés deles influenciar eles desmotivam.

Empreendedor: É e eles desmoralizam.”;

Alguns dados comprovam isto. Segundo pesquisa do Global Entrepreneurship Monitor realizada em 2000, tendo sido entrevistadas 43.000 pessoas em 21 países para cada 8 brasileiros em idade adulta, 1 estava abrindo ou pensando em abrir um negócio. Colocando o Brasil em 1º lugar no campeonato mundial do espírito empreendedor, em 2º lugar os EUA na proporção de 10 para 1 e em 3º lugar a Austrália na proporção de 12 para 1 [Sebrae 2005]. Por outro lado, segundo estudo do Banco Mundial, o Brasil faz feio em matéria de apoiar os empreendedores, de 155 países listados o Brasil está na 119ª posição, atrás de seus principais competidores emergentes como México(73ª), Rússia(79ª) e China(91ª) [GEM 2000].

As redes sociais estão mudando esta realidade, pois elas auxiliam em sua qualidade mais importante segundo o empreendedor Roberto Dantas (codinome): *“Ela ajuda na melhor qualidade do empreendedor, que é a conexão social.”*; O projeto Células Empreendedoras, por exemplo, tem sua própria rede social em seu portal (www.celulasempreendedoras.com.br) e não só visando o apoio em rede social, como também visando encontros presenciais que completem a rede social. Segue relatos que justificam uso de Redes Sociais por parte dos empreendedores:

“E porque as pessoas precisam mostrar mais que elas se conhecem, tanto individualmente como pessoalmente” (Roberto Dantas),

“acho que antes de qual quer coisa que você for fazer algo que vá demandar muito tempo, ou algo que vá demandar a vida inteira, você precisa se conhecer bem para poder iniciar, aí depois disso você começa a ver como as pessoas se conhecem (umas as outras) e como as pessoas se conhecem (conhecem a si mesmas), a partir disso você deve ver como é o vínculo entre as pessoas” (Armando Passos) e: “Não é rede social em si, eu estou querendo propor encontros pessoais, acontece muito na Europa e na Ásia, uma vez por mês eles tem mais interação, marcam uma festa e mostram trabalhos pessoais” (Roberto Dantas).

6 Requisitos para redes sociais voltadas ao empreendedorismo

A partir da análise qualitativa das entrevistas com base no método Grounded Theory, foram identificados quais os requisitos que as redes sociais deveriam possuir para serem adequadas ao universo do empreendedorismo segundo os empreendedores entrevistados. Segue resultados por áreas.

6.1 Requisitos sobre Organização das informações disponíveis na Rede Social

A rede social deve ser organizada e estruturada por tópicos de interesse no tocante a obtenção de informação, bem por grupos específicos de pessoas, como referidos pelos empreendedores abaixo relacionados. É relevante a organização das informações disponíveis.

Carlos Ricardo: *“Acho que falta um pouco de estrutura, porque assim, o conceito de rede social, foi feito com base em liberdade, então é você deixar livre para que as pessoas se comuniquem e se relacionem, o LinkedIn tem um pouco disso de se estruturar e você, de você criar comunidades específicas de determinados tópicos e de você trabalhar em cima daqueles tópicos, então eu acho que se você tivesse uma organização estruturada, onde o usuário poderia estar buscando a informação de forma segmentada, conforme o tipo de interesse que ele tem em determinado assunto, coisas do tipo, você fazer cruzamento de interesses, e de poder perceber a partir de tecnologia e de inteligência computacional usuários que tenham preferência ou interesses*

relacionados ao meu, aí você traria ferramentas que pudessem servir ao empreendedor, porque, ele estaria de certa forma, ele estaria tendo uma facilidade para encontrar o mercado dele...”;

Armando Passos: *“Acho que é mais a questão de mostrar o trabalho pessoal, e encontrar o seu público alvo, porque como é dividida em grupos e subgrupos e tal, e comunidades, isso facilita muito... Verdade, a organização ajuda bastante para você achar o público alvo.”; e: “porque você recebe de tudo, esse é o problema do marketing virtual... então você não recebe coisas que lhe interessam, mas você recebe 500 coisas em que 1 vai te interessar, aí você apaga todo o “sumário” mesmo, você não vai ficar perdendo tempo lendo tudo.”;*

Rodolfo André: *“...O Ning é uma rede social que você cria a sua rede social, então você pode ter uma rede social por exemplo, partindo da escola de redes, que é uma rede social de quem trabalha estudando redes sociais, que tem 6 mil pessoas, mas que ela está no ar a mais de 5 anos, 6 mil pessoas, mas são 6 mil pessoas que o que une elas é um assunto, então elas se comunicam, e quando eu abro o meu Ning para ler, geralmente tudo o que está ali me interessa...”*.

6.2 Sobre o monitoramento da rede social

Também é interessante que haja um monitoramento das redes sociais tanto pela parte da pessoa que a usa como da parte da equipe que desenvolve e adapta a rede.

Carlos Ricardo: *“você quer um monitoramento da rede, então tem uma ferramenta que agente desenvolveu que ela faz isso nas principais redes sociais, ela faz um monitoramento on-line de tudo o que está acontecendo na rede sobre um assunto que você tem interesse e vai consolidando isso em gráfico, mas enfim, é um serviço que a gente provê pro mercado, e o que eu estou dizendo é que as próprias redes sociais elas poderiam estar provendo esse serviço, mas isso não é algo que é comum hoje em dia, porque o propósito da rede social é outro, é deixar ali e fazer com*

que o ambiente seja favorável à comunicação e pouco intrusivo.”.

6.3 Sobre acesso as histórias de uns aos outros

É relevante que as pessoas conheçam a história do empreendedor, de como o mesmo se desenvolveu, bem como exemplos de sucessos e fracassos de outros empreendedores. Estas informações acrescentam o desenvolvimento dos empreendedores no mercado em que atuam.

Roberto Dantas: *“...fazer com que as pessoas conheçam mais a minha história e passem a me ver dessa forma.”;*

Carlos Ricardo: *“Colocaria casos, eu colocaria casos de empreendedores de sucesso e de insucesso, eu deixaria isso bem, bem... Visível, porque assim, você tem muito livro, muita bibliografia de empreendedorismo e que assim, todo mundo sabe que o empreendedorismo o cara tem que montar um plano de negócios, tem que passar por algumas etapas; mas a experiência pessoal das pessoas não está disponível em literatura, muito pouco é disponível, e o que é de mais interessante é isso, porque a literatura de uma maneira geral já expõe os passos pra você maximizar o sucesso.”.*

6.4 Sobre foco no mercado de trabalho

É interessante que as redes sociais tenham em seu ambiente um espaço próprio para currículos, com um foco profissional mais definido e claro. Neste ponto a rede social que mais se destaca é a LinkedIn, que não foi analisada.

Carlos Ricardo: *“...Eu uso muito o LinkedIn, é primeiro porque, lá eu vejo que, para o tipo de trabalho que eu desenvolvo de negócio e também para os estudos que eu faço em pesquisa, para evolução de serviços e produtos que eu desenvolvo, ele traz benefício...”;*

Rodolfo André: *“o LinkedIn eu acredito que hoje é um “deus do currículo online”, poderia chamar assim, você lá se expõe à empresas e você vai receber propostas de trabalho pelo LinkedIn, e também eu procuro pessoas para*

trabalhar no LinkedIn, porque lá, por exemplo, você indica um amigo seu, você diz que já trabalhou com ele, que ele é “assim, é assado”, aí outra pessoa que não gostou de trabalhar com ele vai lá e fala que não gostou de trabalhar com ele e por que ele é “assim, assado”, então se cadastrar no LinkedIn é uma aventura, pode dar certo ou pode dar muito errado, então eu uso o LinkedIn nesse ambiente profissional”.

6.5 Sobre a rede social de trabalho

É muito importante que a rede social seja intuitiva, com uma boa usabilidade.

Armando Passos: *“agora as dificuldades do Facebook inicialmente é o primeiro impacto, eu usava muito Orkut, o MySpace e quando eu fui migrar para o Facebook, foi inevitável, eu tive muito impacto com a utilização, ou seja, a usabilidade não é uma coisa boa no Facebook, você aprende o programa, não fica restrito e tal mas não é fácil de pegar essas utilidades de primeira.”;*

Deve-se observar que os usuários que entram em diversas redes sociais ao mesmo tempo. No momento em que exista falhas de usabilidade, a tendência é que a pessoa recorra ao uso de uma em detrimento da concorrente.

6.6 Sobre a rede social de trabalho

Armando Passos: *“Eu acho que seria interessante fazer uma rede social de empreendedores.”;*

Rodolfo André: *“eu acho que é o que é exclusivo... Já atrai as pessoas que querem ser empreendedoras.”, e “...eu agora não estou falando com uma multidão, eu estou falando com um amigo, o principal que atrai é a exclusividade, eu comparo muitas coisas com relacionamento e com esportes, o que atrai uma pessoa ao outro no relacionamento realmente é a exclusividade, não é o diferencial, e que ele é exclusivo, é exclusivamente ela, e eu acho que cada rede social, pra crescer, ela vai ter que ser*

exclusivamente ela...”.

6.7 Sobre a evolução da rede social

O desenvolvimento da rede social deve ser dinâmico. O ideal é que a rede social esteja sempre em mutação com um constante processo de comunicação com as pessoas que a utiliza e a equipe de desenvolvimento.

Armando Passos: *“...tipo a demanda das pessoas diz exatamente o que elas vão querer então você deve estar andando junto com o pessoal que está utilizando a rede social.”, e “Quem faz não pode ditar como é que vai ser, você faz um projeto e isso deve ser modificado a partir do que o pessoal quer, então falta mais interação com o pessoal para saber o que eles precisam e não só dar o produto como eles querem...”;*

Roberto Dantas: *“Veja bem, é simples e prático, as redes sociais não tem foco hoje nas pessoas, seu foco é em dinheiro e resultados, a pessoa não é um ser humano, é um usuário, para qual quer tipo de indústria on-line, então elas deveriam encarar as pessoas como um ser humano.”*

7 Comparativo das Redes Sociais com base nos requisitos levantados

7.1 Resultados: Comparativos das Redes Sociais

O primeiro passo a ser feito foi levantar um estudo de funcionalidades sobre as redes sociais já citadas, de modo a avaliar de que forma as redes sociais contribuem na formação de um empreendedor, no tocante a facilidades que as mesmas oferecem com suas ferramentas. Visto como dito pelo empreendedor Roberto Dantas (codinome): *“Olha, eu tenho um planejamento de marketing pessoal, e todos os dias eu faço alguma coisa em relação a minha imagem, e as redes sociais são meu único canal para isso; além de manter contato com o meu público, fazer com que eles me conheçam melhor.”.*

O estudo das funcionalidades das redes sociais já citadas permitiu a construção da seguinte Tabela 01:

Tabela 03: Funcionalidades das redes sociais a serem estudadas

Funcionalidade	Facebook	Orkut	RED U	Rede das Células Empreendedoras
Acesso por celular (gratuito)	Sim	Não	Não	Não
Separar contatos por grupo	Sim	Sim	Não	Não
Comunidades	Sim	Sim	Sim	Sim
Bate-papo	Sim	Sim	Não	Não
Aplicativos	Sim	Sim	Não	Não
Publicações de eventos	Sim	Sim	Sim	Sim
Fórum	Sim	Sim	Sim	Sim
Enquetes	Não	Sim	Não	Sim
Espaço para currículos	Não	Não	Sim	Não
Espaço voltado para ensino	Não	Não	Sim	Sim
Compartilhamento de arquivos	Não	Não	Sim	Sim

Segundo HIGUERAG, P.R. 1994, a análise qualitativa, no ambiente da engenharia de software, é a análise baseada em experiências e visão subjetiva, tendo isso em mente foi feita uma análise qualitativa com empreendedores quatro empreendedores, cujo seu codinome, sua idade e sua experiência como empreendedor estão descritas na tabela 02, usando o método da Grounded Theory (Teoria Fundamentada) sobre as redes sociais. E para as redes sociais tem grande relevância como citado: “Olha, eu tenho um planejamento de marketing pessoal, e todos os dias eu faço alguma coisa em relação a minha imagem, e as redes sociais são meu único canal para isso; além de manter contato com o meu público, fazer com que eles me conheçam melhor.” (Roberto Dantas), “As redes sociais ajudam principalmente na parte de divulgação e marketing, e da imagem, como MySpace, Facebook, Orkut até, foram muito importante quando estava fazendo algumas festas e era só

chegar e divulgar no Orkut, e era fácil de conseguir público.” (Armando Passos), “... Eu fiz uma campanha lá, contratei um estagiário, aí eu recebi mais de 600 pessoas dizendo que queriam participar da minha empresa, ou seja, potencializou a minha empresa e muito, porque se eu tivesse feito isso na vida real, teria recebido uns 20 currículos, então potencializa não só nesse âmbito de trazer as pessoas até a sua marca, como também potencializa, em 3 medidas que eu falo, a relação de amor, que as pessoas tem por sua marca, que pode ser você como empreendedor ou sua empresa, tem a relação de defensoria, que seu cliente pode se tornar seu defensor, um bom exemplo disso é que uma cliente que falava muito de mim na internet, muito, todo o dia ela botava um “post” para mim, então o que é que eu fiz, peguei o e-mail dela, peguei o endereço dela e mandei para a casa dela um presente, então ela passou mais um mês falando de mim por causa disso, então você pode usar as redes sociais para descobrir quais são seus clientes em potencial, quem são as pessoas que são defensoras da sua marca, e você pode usar ela para definir um retorno que você está tendo sobre um investimento” (Rodolfo André (codinome)), “na verdade eu uso pouco pra o que eu acho que tem potencial de uso, na verdade eu me limito a usar no tempo curto que eu tenho basicamente o que eu acho que você agrega ao empreendedor é: primeiro, a possibilidade que você tem de investigar o mercado então nas redes sociais você consegue, para determinados segmentos de mercado, você consegue mapear algumas oportunidades existentes e consegue não somente mapear mas identificar se aquilo que você está querendo fazer gera negócio ou não, esse é um ponto, outro ponto [...] uma vez diagnosticado que você tem mercado, você poder oferecer em um ambiente de rede social, ou seja, uma vitrine de baixo custo...” (Carlos Ricardo (codinome)) e “A rede social é como um marketing projetado seus sonhos e futuro.” (Roberto Dantas).

Tabela 04: Requisitos levantados pelos empreendedores sobre as redes sociais a serem estudadas

Requisito levantado nas entrevistas	Facebook	Orkut	REDU	Rede das Células Empreendedoras
Organização da rede social	Sim	Sim	Não	Não
Monitoramento da rede social	-	-	-	-
A rede social deve dar acesso às histórias de vida de outros empreendedores	Não	Não	Não	Não
Foco no mercado de trabalho	Não	Não	Sim	Não
Rede social deve ser intuitiva	Não	Sim	Sim	Sim
A rede social deve ser exclusiva	Não	Não	Não	Sim
A rede social deve evoluir com o usuário	-	-	-	-

OBS.: o que é representando por (-) não se pode afirmar.

Tendo visto os requisitos levantados nas entrevistas pelos empreendedores, observa-se que o Facebook e o Orkut tem uma organização melhor estruturada do que a REDU e a rede das Células Empreendedoras. Mesmo assim, nenhuma das redes citadas possui uma organização ideal no tocante ao fluxo de informações que o usuário recebe.

Nenhuma rede social tem um campo específico para falar sobre as histórias e experiências de vidas dos participantes. A REDU é a única das redes sociais que se mostra com mais foco no mercado de trabalho dentre as citadas por possuir um campo específico para exibição do currículo do usuário;

Dentre as redes sociais estudadas, a menos intuitiva é o Facebook. No tocante à exclusividade para o público empreendedor, a rede social das Células Empreendedoras se destaca por ser exclusiva para empreendedores, bem como a REDU que se especializa no público educacional. Já o Facebook e o Orkut não possuem essa qualidade;

8 Conclusões

Segundo Emanuel Leite (2000), são as pessoas com um perfil empreendedor que inovam e transformam o mundo ao redor delas, gerando riquezas e desenvolvimento para a comunidade onde moram. Acredita-se que este perfil ou atitude gera também ações inovadoras de melhoria social e ambiental. Ações estas que se fazem tão necessárias para a sustentabilidade e geração de riquezas a longo prazo.

As redes sociais mostram-se como ferramentas eficazes para ajudar os empreendedores a melhorarem ainda mais o contexto social e seu desenvolvimento pessoal. No entanto, poucos estudos existem sobre os benefícios do uso das mídias sociais para a formação de empreendedores.

O presente trabalho apresenta os resultados iniciais de um estudo voltado a trazer indicadores para o desenvolvimento de mídias sociais voltadas a educação empreendedora. Através do mesmo é preciso identificar as potencialidades que as redes sociais possuem para tal propósito, bem como os requisitos necessários para que estas redes possam ser mais eficazes. Ao final o trabalho apresenta um estudo comparativo com as principais redes sociais existentes em relação aos seus benefícios para o empreendedorismo.

O diferencial do trabalho está no uso de uma metodologia de pesquisa qualitativa baseada na Grounded Theory. Significa dizer que os resultados gerados foram obtidos de informações reais obtidas da realidade prática de empreendedores com experiência no mercado. Espera-se que o mesmo sirva de base para futuras pesquisas de desenvolvimento/melhoramento de redes sociais específicas para a formação empreendedora.

Como trabalhos futuros vislumbra-se a obtenção de mais algumas entrevistas, bem como um trabalho mais sistemático nas evidências que levam as comparações entre as redes sociais. Outro ponto está associado à inclusão de novas redes sociais a pesquisa realizada.

Referências

- [1] Cruz Neto, G., Gomes, A., Oliveira, N. (2007): "Aliando Grounded Theory e Re-formulações de conceitos da Teoria da Atividade para o melhor entendimento de práticas humanas". *Workshop on*

- Perspectives, Challenges and Opportunities for Human-Computer Interaction in Latin America*, Rio de Janeiro.
- [2] Cruz Neto, G., Gomes, A., Castro, J. (2008): “Balanceando entre a Sensibilidade a Riqueza do Campo e a Praticidade do Design de Software”. *IDEAS-2008*, Recife.
- [3] Cruz Neto, G. (2008): “Estudos qualitativos para elicitação de requisitos: uma abordagem que integra análise sócio-cultural e modelagem organizacional”. Tese de Doutorado. CIN/UFPE.
- [4] Cruz Neto, G. (2009): “Tecnologia da informação gerando novas oportunidades”. Revista FERA. Página 28. Ago/2009.
- [5] Cruz Neto, G. (2010): Células Empreendedoras. Escritório de Direitos Autorais. Fundação Biblioteca Nacional. No do Registro: 504.142, Livro: 954, Folha: 368
- [6] Dolabela, F. (1999) - Oficina do empreendedor. São Paulo: Cultura.
- [7] Dornelas, J. C. A. (2001) - Empreendedorismo: transformando idéias em negócios. Rio de Janeiro: Campus.
- [8] GEM 2000: SUMÁRIO EXECUTIVO. Publicado em: <http://www.gemconsortium.org/download/1316206345780/Empreendedorismo%20no%20Brasil%202000.pdf>, acessado dia 10/01/2011 às 15:00
- [9] Giardelli, G. (2010): A era da generosidade e criatividade coletiva. HSM online (www.gilgiardelli.com.br).
- [10] HIGUERAG, P.R. 1994. An Introduction to Team Risk Management, Technical Leite, E. F.(2000): O Fenômeno do Empreendedorismo. Editora Bagaço.
- [11] Leite, E. (2002): O fenômeno do empreendedorismo criando riquezas. Ed. Revista e ampliada, editora bagaço 2002 pag. 37 - 49)
- [12] Machado, J. R.; Tijiboy, A. V.:(2005): Redes Sociais Virtuais: um espaço para efetivação da aprendizagem cooperativa. Novas tecnologias na educação. CINTED-UFRGS. V. 3 No 1.
- [13] MARIANO, Sandra R. H. Empreendedorismo e inovação: criatividade e atitude empreendedora/ Sandra RH Mariano; Verônica Feder Mayer – Rio de Janeiro. Fundação CECIERJ, 2008. Pag. 215 – 217
- [14] SEBRAE (2011): Características do Empreendedor. Publicado em http://www.sebrae.com.br/customizado/desenvolvimento-territorial/o-que-e-empreendedorismo/integra_bia?ident_unico=336, acessado dia 19/03/2011 às 10: 45 a.m.
- [15] SEBRAE 2005: Brasil é ruim para fazer negócios, diz Bird. Publicado em: <http://www.sebraesc.com.br/newart/default.asp?materia=10259>, acessado dia 10/01/2011 às 14:00 P.M.
- [16] Strauss e Corbin (1990,1a ed.;1998, 2a ed.): *Basics of Qualitative Research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. Sage. Report. *Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University*. USA.

Estudo Comparativo de Algoritmos de RWA para Redes Ópticas Translúcidas

Santana, J. L.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
jls@ecomp.poli.br

Pereira, H. A.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
helder.pereira@poli.br

Chaves, D. A. R.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
daniel_rchaves@yahoo.com.br

Resumo

A utilização de redes de computadores para estudo, trabalho e negócios vem crescendo de forma exponencial nos últimos anos. Assim, serviços de rede devem ter qualidade, para que as pessoas possam executar suas atividades de forma segura e adequada. Redes ópticas devem ser escaláveis, tolerantes a falhas, capazes de suportar grandes volumes de dados e prover alta velocidade nas transmissões, além de ter alcance físico extenso, atendendo aos requisitos para serviços de comunicação de longa distância. Para isso, é preciso utilizar algoritmos de roteamento que possam encontrar melhores rotas para a transmissão desse tráfego.

Abstract

Recently, the use of computer networks for study, work and business has grown exponentially. Thus, network services must have quality, so people can do their activities safely and properly. All-optical networks are scalable, fault-tolerant and capable of handling large data volumes and provide high-speed transmissions, besides having extensive physical reach, meeting the current requirements for networking services. And so we need routing algorithms can find better routes for the transmission of such traffic.

1 Introdução

Tanto atualmente como em épocas remotas, a necessidade do homem sempre foi de se comunicar. Esta comunicação precisa ser extremamente veloz e que percorra distâncias cada vez maiores. Um dos principais avanços tecnológicos, que ajudou de forma poderosa para que a comunicação antes citada fosse alcançada, foi o surgimento da rede mundial de computadores (*internet*) [1], nas décadas de 1970 e 1980. A *internet* oferece aos usuários uma possibilidade de comunicação praticamente ilimitada, fazendo que surja um número crescente de novas aplicações para serem utilizadas nessa nova tecnologia. Essas aplicações são cada vez mais complexas, aumentando a quantidade de informação que precisa trafegar pela rede, precisando alcançar distâncias sempre maiores, necessitando de uma maior demanda por largura de banda.

As tecnologias implantadas nas redes de comunicação não possuem recursos para suprir a demanda prevista. A solução mais viável para atender a essa crescente necessidade por largura de banda são as redes ópticas [2], devido à sua extrema eficiência no transporte de dados em altas taxas de transmissão. Uma rede de comunicação é dita óptica quando o meio físico, usado para a transmissão das informações entre os nós da rede, é composto por cabos de fibra óptica.

As redes ópticas são divididas em opacas, transparentes (ou totalmente ópticas) e translúcidas [3,4]. Nas redes opacas, a camada óptica da rede é utilizada apenas para a transmissão. Todas as operações inteligentes, como a comutação ou a gerência são realizadas por circuitos eletrônicos. Nessas redes, em cada nó intermediário, que interliga o nó origem ao nó destino do caminho óptico (*lightpath*), o sinal sofre uma conversão óptica-elétrica-óptica (O/E/O) [1]. Já nas redes totalmente ópticas o sinal óptico trafega desde o nó origem até o nó destino no domínio óptico, sem sofrer conversão O/E/O e tampouco regeneração [1]. As redes translúcidas são arquiteturas de rede que podem utilizar ilhas de transparências, que são interligadas por regeneradores eletrônicos, ou alguns nós com capacidade de regeneração [3].

As técnicas de transmissão tradicionalmente usadas em fibras ópticas são técnicas de multiplexação por divisão no tempo (*TDM – Time Division Multiplexing*), em que a transmissão é feita num determinado comprimento de onda, e por divisão do comprimento de onda (*WDM – Wavelength Division Multiplexing*) que está ganhando uma rápida aceitação, pois permite que vários canais independentes compartilhem a mesma fibra óptica, proporcionando um melhor aproveitamento da banda de transmissão disponível. Porém, devido aos múltiplos canais de comu-

nicação poderem ser transmitidos em uma única fibra, surgem dois problemas: (i) selecionar os enlaces que devem ser utilizados para transmitir dados entre um par de nós (origem e destino); (ii) selecionar comprimentos de onda disponíveis nos enlaces. A combinação desses dois problemas é chamada de roteamento e alocação de comprimento de onda (*RWA – Routing and Wavelength Assignment*). Esse artigo está dividido da seguinte forma: na Seção 2, descreve-se os algoritmos de roteamento utilizados nesse trabalho, os cenários de simulação são descritos na Seção 3, na Seção 4 são apresentados os resultados e por fim na seção 6 são feitas as conclusões do estudo.

2 Algoritmos de Roteamento

A tarefa do roteamento, em uma rede, consiste em encontrar um conjunto de enlaces que interligue dois nós com necessidade de se estabelecer uma conexão. Uma rede óptica é representada por um grafo em cujas arestas é associado um determinado custo. Existem vários custos possíveis que podem ser utilizados, dentre eles: disponibilidade de comprimentos de onda, distância, número de saltos (*hops*), por exemplo [4]. O problema de selecionar uma rota é normalmente resolvido da seguinte maneira: 1) representa-se a topologia da rede por um grafo, 2) calcula-se o custo de cada enlace (braço do grafo) utilizando-se alguma métrica (custo) preestabelecida e, 3) utiliza-se um algoritmo que encontra a rota de menor custo entre os nós que desejam realizar uma determinada conexão. Neste artigo os algoritmos utilizados para comparação de desempenho foram os de menor caminho (*SP – Shortest Path*) [5], caminho menos congestionado (*LRW – Least Resistance Weight*) [5], menor número de saltos (*MH – Minimum Hop*) [5], menor relação sinal ruído (*OSNR – Optical Signal-to-Noise Ratio*) [5] e o algoritmo por série de potência (*PSR – Particle Series Routing*) [5].

3 Redes Ópticas Translúcidas

Nas redes translúcidas a determinação da rota, que o sinal óptico deve seguir ao longo da rede, deve ser feita levando-se em conta como a qualidade do sinal é impactada no nó destino, além de considerar a presença dos nós com capacidade de regeneração. Por isso, a decisão de roteamento deve ser feita considerando aspectos como: disponibilidade de comprimentos de onda nos enlaces, aspectos da camada física que afetam a qualidade dos sinais ópticos propagantes e a disponibilidade de recursos de regeneração nos nós intermediários da rota. Como o processo de roteamento deve levar em conta também o estado atual que a rede se encontra, o processo de verificação e computação de rotas assume uma característica global devido à dinâmica de operação sistêmica da rede [5,6,7].

Em situações práticas, devido ao acúmulo de ruído, ao longo da propagação do sinal óptico na rede, o sinal pode precisar passar pelo processo de regeneração eletrônica, tornando assim inviável sua propagação fim-a-fim no domínio óptico pela rede [5,7,8,9]. Portanto, um algoritmo de roteamento para redes translúcidas também deve se preocupar como melhor utilizar o recurso de regeneração disponível na rede. Com essa finalidade, os algoritmos de roteamento são comparados neste trabalho, refletindo seu desempenho no cenário das redes ópticas translúcidas, visto que foram idealizados para aplicação em redes transparentes.

4 Cenários de Simulação

Todas as simulações foram feitas com a rede *Pacific Bell* Modificada, ilustrada na figura 1, de acordo com os seguintes cenários:

Primeiro cenário: Rede transparente com uma variação no número de comprimento de ondas (12, 24 e 36), carga da rede variando de 40 a 140 Erlangs com passo de 10 de 10 em 10 unidades e um número de chamadas igual 10^7 .

Segundo cenário: Rede translúcida com número de nós translúcidos sendo 25% do total de nós da rede, com 12 regeneradores por nó translúcido e com o número de comprimentos de onda variando entre 12, 24 e 36, a carga da rede variando de 40 a 140 Erlangs, com passo de 10 e um número de chamadas igual a 10^7 .

Terceiro cenário: Rede translúcida com o número de nós translúcidos sendo 50% do total de nós da rede, com 12 regeneradores por nó translúcido e com o número de comprimentos de onda variando entre 12, 24 e 36, a carga da rede variando de 40 a 140 Erlangs, com passo de 10, e um número de chamadas igual a 10^7 .

Quarto cenário: Rede translúcida com o número de nós translúcidos sendo 75% do total de nós da rede, com 12 regeneradores por nó translúcido, com o número de comprimentos de onda variando entre 12, 24 e 36, a carga da rede variando de 40 a 140 Erlangs, com passo de 10 e um número de chamadas de 10^7 .

Quinto cenário: Rede opaca com o número de regeneradores sendo de 1000 por nó, com o número de comprimentos de onda variando entre 12, 24 e 36, a carga da rede variando de 40 a 140 Erlangs, com passo de 10 e um número de chamadas de 10^7 .

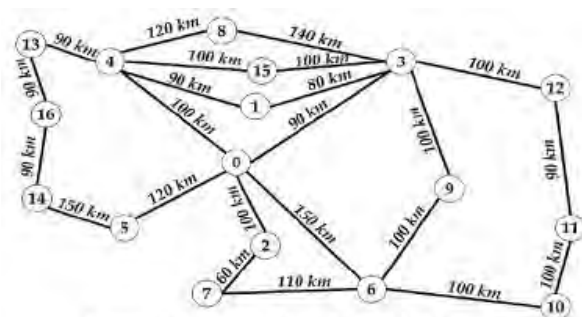


Figura 1 Topologia *Pacific Bell* Modificada.

5 Resultados

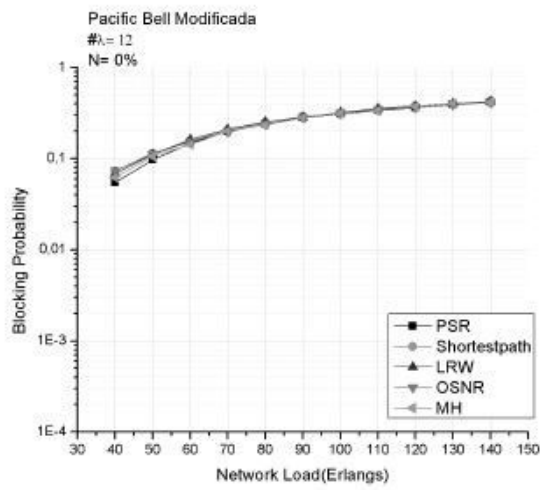
Para a rede transparente os algoritmos mostram resultados muitos próximos, porém o PSR e o OSNR obtiveram um melhor destaque, conforme ilustrado nas figuras 1(a), 1(b) e 1(c).

As figuras 2(a), 2(b) e 2(c), mostram os resultados para a rede com 25% de seu nós translúcidos, observado-se assim que o algoritmo PSR obteve um melhor desempenho em relação aos outros algoritmos.

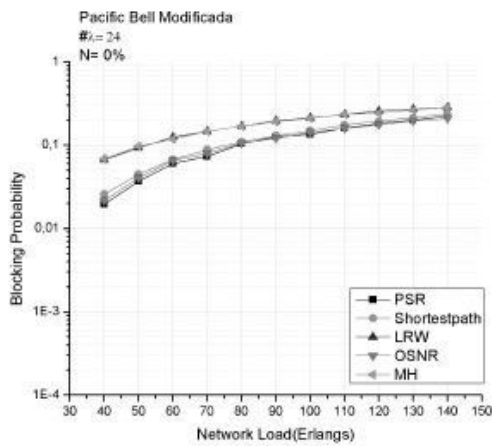
As figuras 3(a), 3(b) e 3(c), mostram os resultados para a rede com 50% de seu nós translúcidos, observado-se assim que o algoritmo PSR obteve um melhor desempenho em relação aos outros algoritmos, porém para a figura 3(c), o algoritmo SP obteve um bom desempenho quando comparado com os outros, exceto PSR.

As figuras 4(a), 4(b) e 4(c), mostram os resultados para a rede com 75% de seu nós translúcidos, observado-se assim que o algoritmo PSR obteve um melhor desempenho em relação aos outros algoritmos, porém para a figura 4(b) e 4(c), o algoritmo SP obteve um ótimo desempenho quando comparado com os outros, exceto PSR.

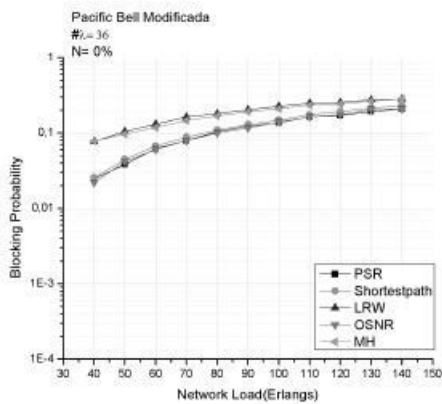
E para as figuras 5(a), 5(b) e 5(c) são mostrados os resultados para a rede opaca, observado-se que para este cenário o algoritmo PSR obteve um melhor desempenho em relação aos outros algoritmos que estão sendo analisados.



(a)

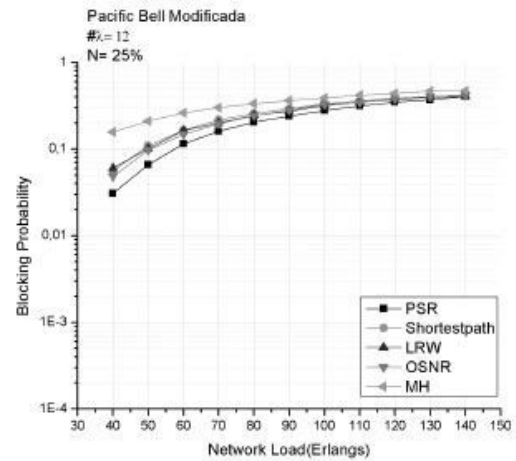


(b)

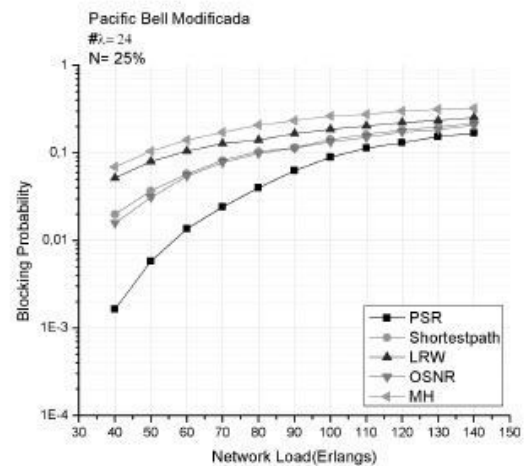


(c)

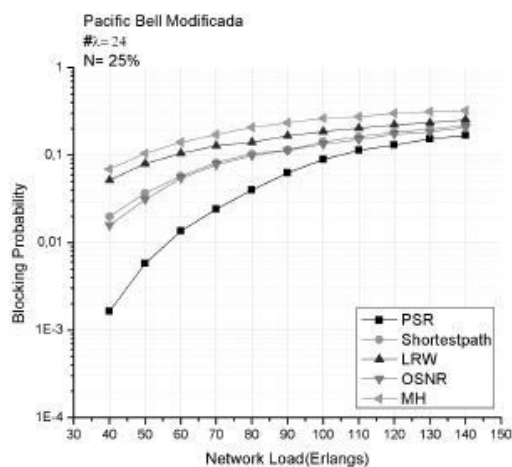
Figura 2: Topologia *Pacific Bell* Modificada considerando o cenário da rede transparente e: (a) 12 comprimentos de onda, (b) 24 comprimentos de onda e (c) 36 comprimentos de onda.



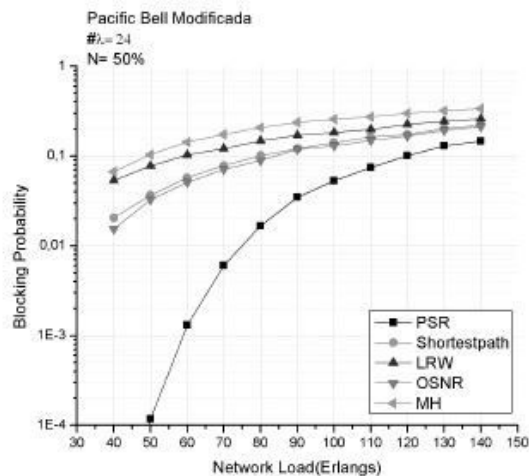
(a)



(b)

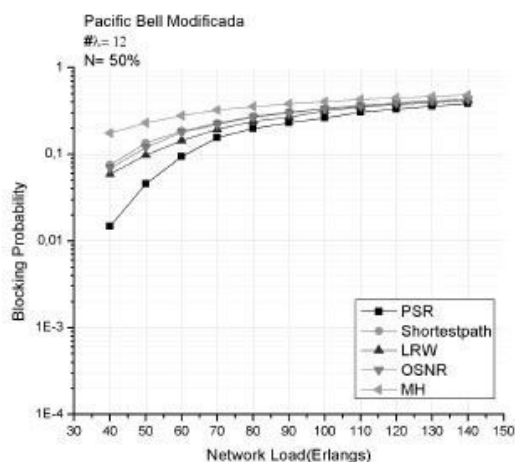


(c)

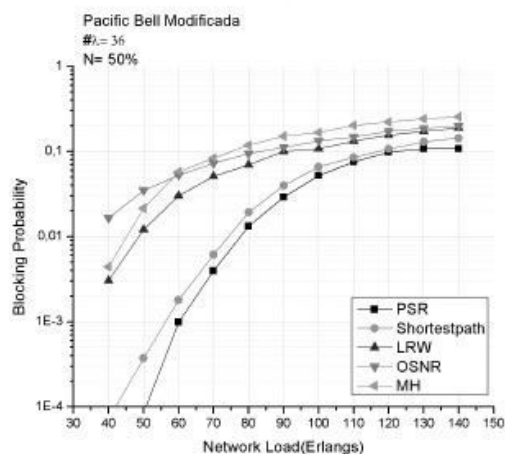


(b)

Figura 2: Topologia *Pacific Bell* Modificada considerando o cenário da rede translúcida com 25% dos nós translúcidos: (a) 12 comprimentos de onda, (b) 24 comprimentos de onda e (c) 36 comprimentos de onda.

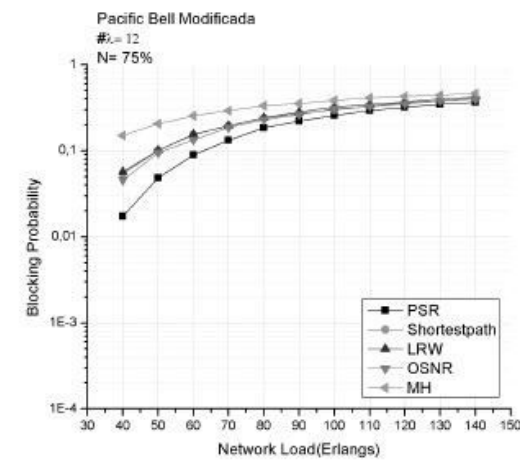


(a)

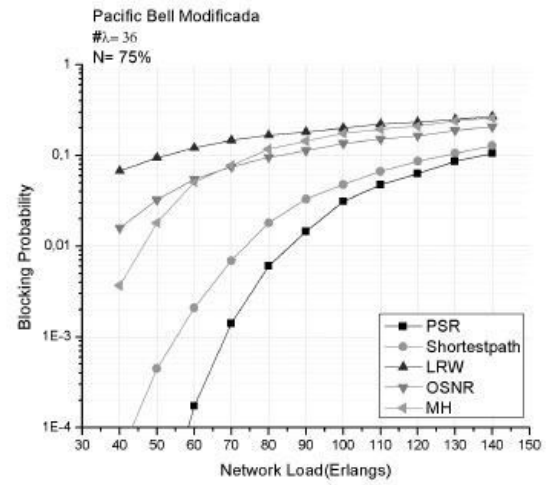


(c)

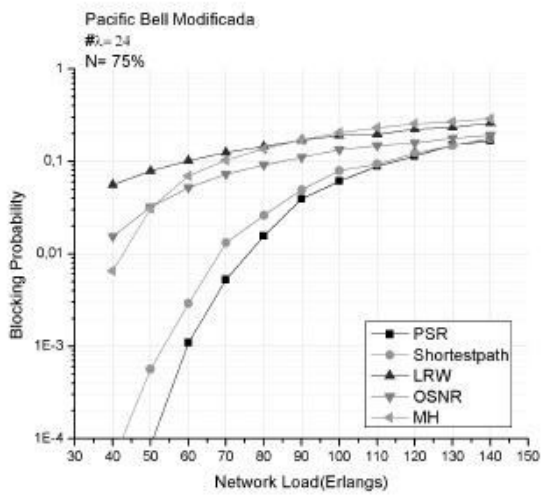
Figura 3: Topologia *Pacific Bell* Modificada considerando o cenário da rede translúcida com 50% dos nós translúcidos: (a) 12 comprimentos de onda, (b) 24 comprimentos de onda e (c) 36 comprimentos de onda.



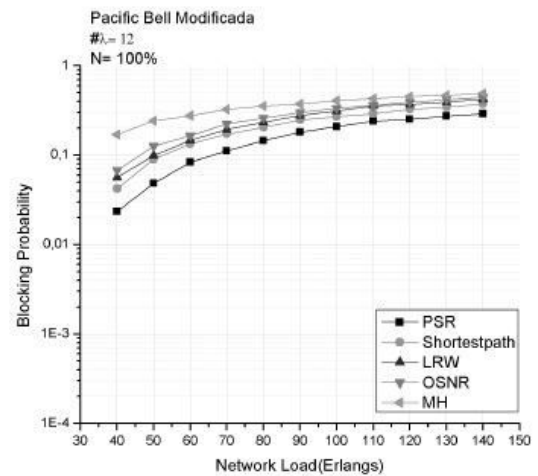
(a)



(c)

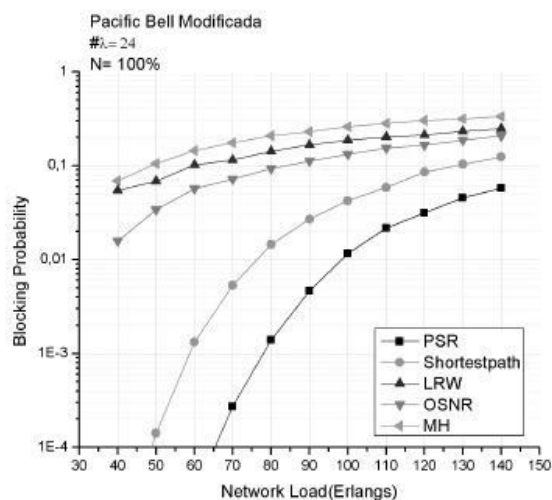


(b)

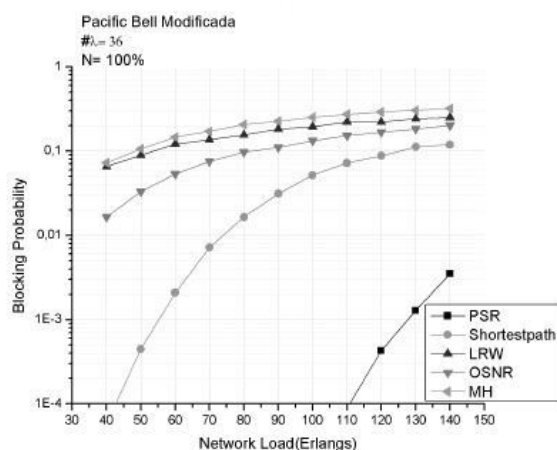


(a)

Figura 4: Topologia *Pacific Bell* Modificada considerando o cenário da rede translúcida com 75% dos nós translúcidos: (a) 12 comprimentos de onda, (b) 24 comprimentos de onda e (c) 36 comprimentos de onda.



(b)



(c)

Figura 5: Topologia *Pacific Bell* Modificada considerando o cenário da rede opaca: (a) 12 comprimentos de onda, (b) 24 comprimentos de onda e (c) 36 comprimentos de onda.

6 Conclusão

Com as análises feitas dos algoritmos nesse trabalho, conclui-se que o algoritmo PSR, que havia sido implementado para redes ópticas transparentes, conseguiu se adaptar para redes translúcidas obtendo melhor desempenho em termos de probabilidade de bloqueio das chamadas em relação aos outros algoritmos analisados em todos os cenários de simulação investigados.

Pode ser observado ainda que o algoritmo OSNR

apresenta desempenho similar ao PSR no cenário de rede óptica transparente, no entanto essa característica não foi observada para os demais cenários translúcidos considerados.

O algoritmo SP para alguns cenários, como para a rede translúcida com 75% de nós com capacidade de regeneração, obteve desempenho melhor que os outros algoritmos analisados se aproximando do desempenho do PSR, que foi algoritmo com melhor desempenho em todos os cenários investigados.

7 Agradecimentos

Agradeço ao programa do Pibic/Poli, FACEPE, UPE e UFPE pelos incentivos recebidos.

Referências

- [1] Daniel A. R. Chaves, Caio F. C. L. C. Ayres, Renan V. B. Carvalho, Helder A. Pereira, Carmelo J. A. Bastos-Filho e Joaquim F. Martins-Filho. Submetido ao International Microwave and Optoelectronics Conference, IMOC, 2009.
- [2] CHAVES, Daniel A. R. ; BASTOS-FILHO, Carmelo J. A. ; MARTINS-FILHO, Joaquim F. Ferramenta Computacional para Simulação de Redes Ópticas Transparentes. Anais do MOMAG 2008. Florianópolis : SBMO, 2008. v. 1. p. 908-913.
- [3] L. Wang et al., "A hybrid control architecture for connection management in translucent wdm networks," Anais do IEEE Global Telecommunications Conference – GLOBECOM, Dezembro 2008, pp. 1–6.
- [4] D.A.R. Chaves; C.J.A. Bastos-Filho; J.F. Martins-Filho. Algoritmos Rápidos de IRWA para Redes Totalmente ópticas. PhD thesis, Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Pernambuco, 2008.
- [5] H. A. Pereira, D. A. R. Chaves, C. J. A. Bastos-Filho, and J. F. Martins-Filho, "OSNR model to consider physical layer impairments in transparent optical networks," Photonic Network Communications, Setembro 2008, online, <http://dx.doi.org/10.1007/s11107-008-0178-2>.
- [6] B. Ramamurthy et al., "Translucent optical wdm networks for the next-generation backbone networks," Anais do IEEE Global Telecommunications Conference – GLOBECOM, vol. 1, 2001, pp. 60–64.

- [7] Ramaswami, R., Sivarajan, K.N.: Optical Networks: A Practical Perspective, 2^a ed. MorganKaufmann, San Francisco (2002).
- [8] G. Shen, W. V. Sorin, and R. S. Tucker, "Cross-layer design of ase-noiselimited island-based translucent optical networks," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 27, no. 11, pp. 1434–1442, Junho 2009.
- [9] J. F. MARTINS-FILHO, D. A. R. CHAVES, C. J. A. BASTOS FILHO, D. O. AGUIAR, Intelligent and Fast IRWA Algorithm based on Power Series and Particle Swarm Optimization. *Anais do 10º International Conference on Transparent Optical Networks*, 2008, Atenas, Grécia. v. 1. p. 158-161.

Uma investigação do problema de elaboração de grade horária (timetabling problem)

Verçosa, L. F. V

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
lfvv.eliane@dsc.upe.br

Loiola, E. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

Este trabalho apresenta o problema de elaboração de grade horária (timetabling problem) no contexto do curso de Engenharia de Computação da Universidade de Pernambuco e também a geração de uma solução viável para uma instância do problema. Para tanto, utiliza-se dos conceitos de escalonamento e coloração de grafos que são amplamente discutidos e exemplificados.

Abstract

This work show the timetabling problem in the contexts of Computer Engineering course of the University of Pernambuco and even generate a feasible solution for one instance of this problem. For doing that, is used scheduling concepts and graphs coloring that are largely discussed and exemplified.

1 Introdução

A definição de escalonamento é uma descrição do ordenamento de recursos no tempo ou no espaço, tentando alcançar com sucesso um determinado objetivo e respeitando o conjunto de limitações impostas (Beasley, 1997). O problema de escalonamento está relacionado a inúmeras aplicações nas áreas de planejamento de produção, programação de horário, escala de trabalho entre outros.

O problema de elaboração de grade horária de universidades é uma variação do problema de escalonamento, mais conhecido como *timetabling problem*, cujo principal objetivo é alocar um conjunto de professores a um conjunto de horários e salas satisfazendo as restrições envolvidas. Tais restrições podem ter natureza impeditiva ou não impeditiva. A violação de restrições de natureza impeditiva está relacionada com soluções que são inviáveis, já a violação de restrições não impeditivas está relacionada com soluções que apesar de serem viáveis não são soluções desejadas. Uma solução desejada é aquela que satisfaz todo o conjunto de restrições associadas ao problema.

O caso geral é NP-árduo (Even *et al.* 1976). Na literatura existe uma variedade de técnicas propostas para resolver o *timetabling problem* e suas variações (Schaefer, 1999). Entre elas estão diversas metaheurísticas tais como *tabu search* e algoritmos genéticos (Chu and Fang, 1999; Santos *et al.* 2005). O *timetabling problem* também pode ser visto como um problema de coloração de grafos (Even *et al.* 1976), tornando-se uma abordagem alternativa para o problema.

Esta pesquisa foi aplicada no contexto da Universidade de Pernambuco, usando como estudo de caso a grade horária do curso de Engenharia de Computação.

No curso de Engenharia de Computação e demais cursos da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (UPE) cabem aos coordenadores, de seus respectivos cursos, as tarefas de estabelecer os horários das disciplinas do curso e distribuí-las entre os professores de acordo com os horários preestabelecidos. O principal objetivo é evitar choques de horários entre professores habilitados e disponíveis, entre outras restrições. Todo esse trabalho é feito de forma manual possuindo assim as desvantagens citadas anteriormente.

2 O problema do Escalonamento

Em Viana (1996) encontramos a definição matemática a seguir para o problema de escalonamento.

Dado um conjunto de n de tarefas independentes com tempos de duração $t_1, t_2, \dots, t_n$, onde t_i é o tempo de execução da tarefa i , e um conjunto de m processadores idênticos, inicialmente ociosos, que funcionam em paralelo. Distribuir (escalonar) as n tarefas pelos m processadores de forma a minimizar o tempo de execução, considerando que cada tarefa será executada uma única vez em um dos processadores. Ou seja:

$$\min Z \geq \sum_{i=1}^n t_i x_{ij}, j \in \{1, \dots, m\} \quad (1.1)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, i \in \{1, \dots, n\} \quad \forall i, j, \text{ e } x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (1.2)$$

A expressão (1.2) nos mostra a restrição de que cada tarefa só é executada uma única vez em algum dos processadores unicamente. No entanto, observa-se que um processador poderá executar diversas tarefas. Já a expressão (1.1) nos mostra que deseja-se minimizar z , ou seja, minimizar o tempo total de execução das tarefas em cada processador. As Figuras 1 e 2 apresentam um exemplo retirado de Viana (1996), neste exemplo podemos observar uma lista de tarefas antes e após seu escalonamento.

Processador-1	T3	T6	T9							
Processador-2	T1		T4			T7		T10		
Processador-3		T2	T5					T8		
Tempo (s) →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Processador-1		T4	T5	T6		T7				
Processador-2		T1	T2	T3	T9		T10			
Processador-3			T8							
Tempo (s) →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fig 1. Distribuição de tarefas antes do escalonamento.

Fig 2. Distribuição de tarefas após escalonamento.

3 O problema de Elaboração de Grade Horária

O problema de elaboração de grade-horária trata-se de uma variação do problema de escalonamento, onde é preciso escalonar uma quantidade de professores (unidades de processamento) para uma quantidade de aulas (tarefas) de maneira que sejam satisfeitas certas restrições pedagógicas e administrativas. Souza *et al.* (2000) definem o problema e abordam um método de resolução heurístico que melhora resultados existentes na literatura e Souza *et al.* (2001) tratam de novos procedimentos para melhoria das soluções encontradas no trabalho anterior. O procedimento definido em Souza *et al.* (2000) consiste basicamente em diminuir o somatório da função objetivo de cada professor respeitando as restrições (administrativas e pedagógicas). Essa função mede essencialmente a qualidade do

horário de cada professor levando em conta fatores de maior ou menor peso sendo dada por:

$$f = \sum_{i=1}^m f_i = \sum_{i=1}^m \alpha_i * b_i + \beta_i * v_i \quad (1.3)$$

Onde:

f = somatório das funções objetivos dos professores;

f_i = função objetivo do professor i ;

b_i = horário ocioso entre dois horários de aula de um mesmo professor (buracos);

v_i = número de dias em que um professor está envolvido em alguma atividade;

α_i e β_i = pesos que refletem a importância relativa de b_i e v_i ;

m = quantidade de professores;

O exemplo abaixo retirado de Souza *et al.* (2000) nos esclarece o objetivo do procedimento proposto, veremos que não será necessário descrever as restrições para entendimento do exemplo. A Tabela 1 mostra o fragmento do quadro Q_i de horários de professores. Cada linha i representa um professor ($i = t1, t2, t3, t4$) e cada coluna k um horário ($k = h1, h2, h3, h4, h5$) de um dia da semana. Cada par (i, k) da tabela representa a atividade do professor i no horário k , cada uma dessas atividades equivale a um encontro m_{ij} onde i representa um professor e j uma turma. $c1, c2, c3$ e $c4$ são turmas. Um traço (-) significa indisponibilidade do professor, enquanto uma célula vazia indica que não há atividade no horário. A coluna f_i indica o valor da função objetivo de cada professor, expressa em (1.3), com $\alpha_i = 1$ e $\beta_i = 0$.

	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	f_i
t_1	c_1		c_2	c_2		1
t_2	c_2			c_1	c_1	2
t_3		c_2	c_1	c_3	c_2	0
t_4	c_3	c_1	c_3	c_4	-	0

Fig 3. Quadro Q_1 .

Por exemplo, a função $f_{o1} = 1$ indica que há um intervalo vazio entre dois horários do professor $t1$ e assim por diante. Temos então que $f(Q_1) = 1 + 2 + 0 + 0 = 3$. Para melhorar essa função objetivo o procedimento associa um grafo para cada turma e por meio da manipulação de ciclos de custo negativo melhora a função objetivo.

Dessa forma, após a aplicação do procedimento, obtemos a Figura 4, onde destacamos as mudanças de escalonamento.

	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	f_i
t_1			c_2	c_2	c_1	0
t_2	c_2		c_1	c_1		1
t_3	c_1	c_2		c_3	c_2	1
t_4	c_3	c_1	c_3	c_4	-	0

Fig 4. Quadro Q_1' com melhoria da função objetivo.

A manipulação de ciclos de custo negativo possui basicamente o seguinte entendimento: a mudança no horário da aula de uma turma implica numa reação em cadeia, ocasionando outras mudanças a serem realizadas na turma de maneira que o horário liberado pela primeira modificação seja ocupado por outro professor fechando assim um ciclo. Isso pode ser observado com a mudança do horário da aula da Turma $c1$ de $h1$ para $h5$ que implicou na seguinte sequência de mudanças: $(c1, t1) \rightarrow h_1 \rightarrow h_5 \rightarrow (c1, t2) \rightarrow h_5 \rightarrow h_3 \rightarrow (c1, t3) \rightarrow h_3 \rightarrow h_1$. Esse mesmo procedimento é realizado para cada turma.

Outro algoritmo que consiste na transferência de um professor de uma turma para outra em um mesmo horário é encontrado em (Souza *et al.*, 2001). Neste algoritmo, uma solução inicial é gerada por um procedimento construtivo parcialmente guloso, sendo seguido de uma busca tabu como procedimento de busca local. Quando é gerada uma solução sem sobreposições, mas com algum outro tipo de inviabilidade, aciona-se um procedimento para tentar recuperar a viabilidade. Sendo bem sucedido, ele é novamente acionado agora para tentar melhorar a agenda dos professores. Após um número de iterações sem melhorias, todo o processo (fase construtiva e busca local) é repetido até que uma condição de parada seja satisfeita. O algoritmo proposto em (Souza *et al.*, 2001) é uma melhoria do algoritmo proposto em (Souza *et al.*, 2000).

4 Definição do Grafo do Timetabling Problem

Existem diversos tipos de coloração para os grafos, tais como: coloração de vértices, de arestas, e total. Nosso problema aborda a coloração de vértices. A seguir serão apresentadas algumas definições de grafos extraídos de Friedmann *et al.* (2010) importantes para essa pesquisa.

Definição 1. Coloração própria de G é uma atribuição de cores aos elementos do grafo, sejam vértices, arestas ou ambos, de tal forma que elementos adjacentes recebem cores distintas.

Definição 2. Uma t -coloração de G é uma coloração com t cores que são capazes de colorir um grafo (não necessariamente o menor conjunto de cores).

Tem-se então a definição matemática para a coloração de vértices dada a seguir.

Segundo Neufeld *et al.* (1974) o problema de grade-horária (professor-turma) é definido como a seguir: um conjunto de professores $T = \{t_i\}$ com $i = 1, \dots, \alpha$; um conjunto de turmas $C = \{c_j\}$ com $j = 1, \dots, \beta$; um conjunto de horários $H = \{h_k\}$ com $k = 1, \dots, t$. O produto cartesiano $\alpha \times \beta$ é representado pela matriz $R = [r_{ij}]$, onde $r_{ij} \geq 0$. O valor r_{ij} é igual ao número de horários que o professor t_i encontra a turma c_j . O problema de grade-horária deve satisfazer certas condições pré-estabelecidas. Essas condições são restrições de indisponibilidade e encontros pré-estabelecidos. Seja n , $1 \leq n \leq r_{ij}$, o n ésimo encontro entre o professor t_i e a turma c_j

representado por m_{ij}^n . $M_{ij}^n = \{M_{ij}^1, \dots, M_{ij}^{r_{ij}}\}$ representa todos os encontros r_{ij} .

Seja $M_j = \bigcup_{i=1}^{\alpha} r_{ij}$ então M_j representa os encontros da turma c_j com todos os professores $t_i \in T$.

Qualquer solução para o problema de grade horária descreve todos os horários r_{ij} em que cada encontro m_{ij}^n das turmas $c_j = 1, \dots, \beta$ com os professores $t_i = 1, \dots, \alpha$ devem acontecer.

Seja G um grafo com um conjunto de vértices V e um conjunto de arestas não direcionadas E . Define-se V tal que seus vértices $v \in V$ possuem uma correspondência um-para-um com os encontros M_{ij}^n .

Assim, cada vértice será representado por v_{ij}^n onde i representa a turma, j o professor e n o n ésimo encontro entre os dois. v_{ij} corresponderá a M_{ij} e V_j corresponderá a M_j .

Define-se por fim o conjunto de arestas E do grafo G como $E = E^1 \cup E^2$ onde $E^1 = \bigcup_{j=1}^{\beta} E_j$, com $E_j = \{(v, v') | v, v' \in V_j, v \neq v'\}$ e $E^2 = \bigcup_{i=1}^{\alpha} E_{ij}$, onde $E_{ij} = \{(v, v') | v \in V_{ij}, v' \in V_{ij}\}$ para todo $j \neq j'$ com $r_{ij}, r_{ij'} > 0$ e $E_{ijj'} = \emptyset$ caso contrário.

Assim, nota-se que o conjunto E^1 especifica que todos os vértices de uma mesma turma, $v \in V_j$, estarão interconectados, assim como E^2 nos diz que todos os vértices de turmas diferentes ($j \neq j'$), mas que possuem o mesmo professor i também serão interconectados. Para facilitar a compreensão, criamos um exemplo básico dado para os conjuntos dados a seguir:

$$T = \{t_1, t_2, t_3\}$$

$$C = \{c_1, c_2\}$$

$$H = \{h_1, h_2, h_3, h_4, h_5\}$$

$$M_1 = \{m_{11}^1, m_{11}^2, m_{21}^1, m_{21}^2, m_{31}^1\}$$

$$M_2 = \{m_{12}^1, m_{12}^2, m_{22}^1, m_{22}^2, m_{32}^1\}$$

Para cada M_{ij}^n haverá um vértice v_{ij}^n correspondente. Desta forma, obtém-se o grafo a seguir.

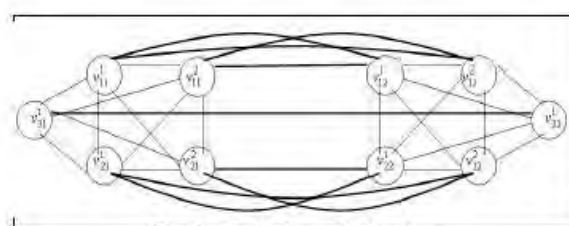


Fig 5. Grafo de grade-horária.

A Figura 1 permite visualizar e compreender melhor o problema. As arestas do subconjunto E^2 estão em negrito para melhorar a visualização por meio da distinção entre as arestas do subconjunto E^1 e as arestas do subconjunto E^2 .

5 Coloração do Grafo do Timetabling

Para efetuar a coloração, as restrições são gradativamente inseridas. Primeiro se estabelece uma relação do problema de coloração com um problema de grade-horária sem qualquer tipo de restrição.

Seja $L = l_1, l_2, \dots, l_t$ suponha que os horários $h_1, h_2, \dots, h_t \in H$ correspondem respectivamente às cores $= l_1, l_2, \dots, l_t$. A atribuição do horário h_k a um encontro m_{ij}^n corresponde a atribuição da cor l_k para o vértice v_{ij}^n .

Uma vez que qualquer solução para o problema de grade-horária descreve todos os horários r_{ij} em que cada encontro m_{ij}^n das turmas $c_j = 1, \dots, \beta$ com os professores $t_i = 1, \dots, \alpha$ devem acontecer, então a correspondência estabelecida cria uma relação um-para-um entre todas as soluções possíveis para o problema e todas as t -colorações possíveis para o grafo correspondente.

Por fim são adicionadas as restrições de indisponibilidade e de encontros pré-estabelecidos. Uma vez que h_k se relaciona com a l_k cor, dizer que um professor x está indisponível em um horário h_k equivale a dizer que todos os vértices do tipo v_{xj}^n não poderão receber a cor l_k . A mesma linha de raciocínio é válida para uma turma y indisponível em um horário h_k . Já, dizer que um professor z terá um

encontro n pré-estabelecido com uma turma w em um horário h_k , significa dizer que o vértice correspondente v_{zj}^n será obrigado a receber de antemão a cor l_k . Esta restrição está presente no estudo de caso do projeto, ou seja, na grade horária do curso de Engenharia de Computação da POLI, já que os horários dos professores do ciclo básico são pré-estabelecidos.

Para facilitar a assimilação desses conceitos apresentamos o grafo do exemplo anterior acrescentando-se as seguintes restrições: professor $t3$ está indisponível em $h1$ e $h2$; professor $t1$ precisa encontrar turma $c2$ em $h3$ e $h4$. Iremos utilizar as seguintes cores:

$h_1 \rightarrow l_1 = \text{vermelho}$

$h_2 \rightarrow l_2 = \text{azul claro}$

$h_3 \rightarrow l_3 = \text{amarelo}$

$h_4 \rightarrow l_4 = \text{verde}$

$h_5 \rightarrow l_5 = \text{rosa}$

Desta forma, temos uma solução viável para coloração do grafo com as restrições dadas:

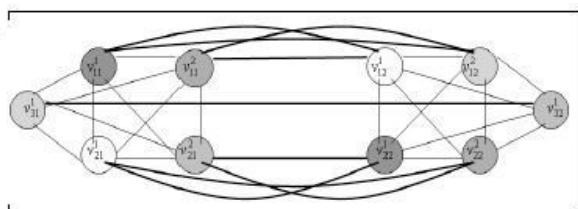


Fig. 6. Solução viável para o problema de grade horária.

Observa-se que uma solução viável para o problema pode não ser uma solução ótima.

6 Algoritmo de Coloração

A formulação por grafo para o problema permite atender os requisitos a seguir:

1. Nenhum professor poderá ministrar aulas em mais de uma turma ao mesmo tempo;
2. Nenhuma turma poderá ter aula com mais de um professor ao mesmo tempo;
3. Os professores poderão ministrar aulas somente em seus horários disponíveis;
4. As turmas poderão ter aulas do ciclo profissional somente em horários que não estiverem reservados às disciplinas do ciclo básico.

Assim, o algoritmo de coloração, baseado em Silva et al. (2010), consultará o grafo para satisfazer as restrições 1 e 2, e criará as restrições 3 e 4.

São parâmetros de entrada do algoritmo: o grafo G e um vértice s , o primeiro a ser colorido. O conjunto Y representa o conjunto de vértices não coloridos. O parâmetro horário-cor corresponde (no final da execução do algoritmo) ao resultado da coloração e representa um vetor que possui em cada posição um conjunto de vértices (cada vértice é um encontro n entre um professor e uma turma) os quais receberão a mesma cor (horário).

O algoritmo é mostrado pelo pseudocódigo abaixo, cujos passos são repetidos enquanto houver vértices não coloridos no grafo:

Passo 1. Definir uma nova posição no vetor Horário[cor] (novo horário);

Passo 2. Adicionar em Horário[cor], dentre os vértices não coloridos, aqueles que atendem às restrições do problema;

Passo 3. Incrementar o número de cores.

```

Algoritmo Coloração (G(V, A), s)
cor ← 1;
Horário[cor] ← s;
Y ← V - {s}
Enquanto Y ≠ {} faça
    Para todo v | v ∈ Y faça
        Se ((Horário[cor] não possui vértice adjacente a v) e
            (professor de v está disponível em cor) e
            (turma de v não possui aula de disciplina do básico) e
            (professor de v não deu aula no dia)) então
            Horário[cor] ← v;
            Y ← Y - {v};
    Fim-Se
Fim-Para
cor ← cor + 1;
Fim-Enquanto
Retorna Horário;
Fim-Algoritmo
    
```

Fig. 7. Algoritmo de Coloração do Grafo do Timetabling Problem.

A condição “Se Horário[cor] não possui adjacente” verifica através do grafo se as condições 1 e 2 são satisfeitas. A condição “Se professor está disponível em cor” verifica a condição 3 e por último, a condição “Se turma não possui aula de disciplina do básico” verifica a condição 4. Finalmente a condição “Se professor de v não deu aula no dia” impede que um mesmo professor e uma mesma turma possam se encontrar duas vezes no mesmo dia (cada encontro tem duração de uma hora e cinquenta minutos).

7 Estudo de Caso do Curso de Engenharia de Computação

Na Escola Politécnica de Pernambuco (núcleo das engenharias da Universidade de Pernambuco), o vice-coordenador Dr. Sérgio Campello é atualmente o responsável por elaborar semestralmente a grade-horária de todas as turmas e professores do curso de Engenharia de Computação. Em entrevista com ele foi possível coletar importantes informações a respeito de como é feito todo o processo. Primeiro, é necessário dois a três dias para montar manualmente todos os horários e em seguida mais três ou quatro dias para fazer mudanças de acordo com as necessidades e preferências dos professores. Assim, temos abaixo uma descrição passo-a-passo de todo o processo:

1º PASSO: Distribuir todas as disciplinas disponíveis para todos os docentes. Nessa distribuição a quantidade de atribuições (administrativas, acadêmicas, etc.) de cada docente e sua disponibilidade são levados em conta para saber quantas disciplinas o professor deverá assumir. Estes fatores podem ser, por exemplo: cargo administrativo (como coordenador, por exemplo), orientação de TCC, aulas no mestrado, etc.

2º PASSO: Para cumprir com o passo acima, um questionário é enviado para o time de docentes. Neste questionário, o docente poderá informar suas disciplinas preferidas e horários disponíveis. Na primeira tabela o docente deverá informar suas restrições de horário e na segunda, suas preferências de horário.

3º PASSO: Após a coleta dos dados, o horário de cada turma e de cada docente é elaborado manualmente. Sendo necessário considerar que os horários das disciplinas do ciclo básico são fixos e não podem sofrer qualquer alteração. Sendo assim, cada horário é elaborado buscando sempre otimizar de modo a atender as necessidades dos professores, ou seja, tentando reduzir a quantidade de dias de trabalho e os “buracos” existentes entre uma aula e outra de cada professor. Minimizar a quantidade de dias de trabalho dos professores é uma das maiores dificuldades, assim como evitar choques de disciplinas para alunos que tenham sido reprovados. Além disso, é preciso levar em conta a quantidade de feriados no semestre em questão. Por exemplo, se em um semestre há muitos feriados na terça, então muitas segundas serão impressadas, consequentemente, deve-se evitar a alocação de uma mesma disciplina nestes dois dias, caso contrário será difícil repor as aulas perdidas e cumprir a carga horária semestral para a mesma.

4º PASSO: Se necessário o Vice-Coordenador ainda poderá fazer modificações nos horários de turmas e professores de maneira a satisfazer as “restrições de última

hora” (não especificadas nos questionários dos professores) e restrições de professores que porventura não preencheram o questionário (nesse caso dar-se-á preferência aos que preencheram o questionário).

8 Resultados

Foram usados a linguagem Java e o ambiente eclipse para implementar os algoritmos e gerar a solução. O estudo de caso foi feito com as seguintes variáveis:

- Utilizou-se a grade-horária elaborada manualmente em 2010.2 para saber as disciplinas lecionadas por cada um dos 19 professores do ciclo profissional.
- Estabeleceu-se que existem apenas três horários para execução de aulas por dia (segunda a sexta): 7:10h às 8:50h, 8:50h às 10:30h e 10:30h às 12:00h.
- Utilizou-se o conjunto de 10 turmas onde cada uma se encontra em um período diferente.
- Não foi incluído no estudo de caso disciplinas lecionadas fora desse conjunto de horários.

Para geração dos resultados foram seguidos os seguintes passos:

Passo 1. Geração do grafo descrito em 3

Passo 2. Coloração do grafo através do algoritmo descrito em 4.1

No Passo 1 são usados três arquivos no formato txt para gerar o grafo definido em Koffman et al. (2008). O arquivo ProfessorHorário especifica os horários indisponíveis dos professores, ProfessorTurma, a quantidade de aulas entre cada par professor-turma e RestriçãoHorárioTurma, os horários das disciplinas do ciclo básico. Assim como pode ser visualizado na Figura 8, o arquivo ProfessorTurma corresponde a uma matriz binária $A = [a_{ij}]$ em que o valor $a_{ij} = 1$ significa que o professor j está disponível (não tem compromisso pessoal impeditivo) para lecionar no horário i . Analogamente, se $a_{ij} = 0$ então professor j estará indisponível. A partir desses arquivos o programa gera internamente o grafo.

6º período 2010.2 manhã - Eng.da Computação					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10	Sist Comunicacão - Carmelo Bastos	Banc Dados - Maria Lencastre	Sist Comunicacão - Carmelo Bastos	Concencia - Sérgio Munio	Concencia - Sérgio Munio
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40	Banc Dados - Maria Lencastre	Redes 2 - Edison	Circ Sequ - Sérgio Camp	Ana. Proj. Soft - Denis Silveira	Org Comp - Wellington
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20					
F 11:20 - 12:10	Redes 2 - Edison	Circ Sequ - Sérgio Camp	Ana. Proj. Soft - Denis Silveira	Org Comp - Wellington	

Fig 17. Resultado Grade Horária turma 5 (6º Período).

7º período 2010.2 manhã - Eng.da Computação					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10	IA - Fernando Buarque	IA - Fernando Buarque	Cont Processos - Wellington	Mat Formais - Luis Menezes	Cont Processos - Wellington
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40	Compilad - Gustavo Carv	Compilad - Gustavo Carv	Mat Formais - Luis Menezes	Arquit Comp - Sérgio Munio	Arquit Comp - Sérgio Munio
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20	Sist Operacional - José Paulo	Sist Operacional - José Paulo	Adm - Jurany Trassoso		
F 11:20 - 12:10					

Fig 18. Resultado Grade Horária turma 6 (7º Período).

8º período 2010.2 manhã - Eng.da Computação					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10	Proj BD - Eliane Loliola	PDI - Bruno Fernandes	Sist Info - Simone Santos	Sist Info - Simone Santos	
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40	Comunic Digital - Carmelo Bastos	Min de dados - Meuser Valença	PDI - Bruno Fernandes	Proj BD - Eliane Loliola	Forn de Empregad - Emanuel Leite
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20	Proj Comp - Gustavo Carv	Proj Comp - Gustavo Carv	Comunic Digital - Carmelo Bastos	Min de dados - Meuser Valença	Forn de Empregad - Emanuel Leite
F 11:20 - 12:10					

Fig 19. Resultado Grade Horária turma 7 (8º Período). Aulas em amarelo não foram contempladas pelo programa.

9º período 2010.2 manhã - Eng.da Computação					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10	Ger Redes Comp - Edison	Eng de Soft Exp - Maria Lencastre	Eng de Soft Exp - Maria Lencastre	Mod e simula - Luis Carlos	Semantica - Luis Carlos
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40	Ger Proj - Simone Santos	Prot Circ Inf - José Paulo	Prot Circ Inf - José Paulo	Semantica - Luis Carlos	Redes Neurais - Meuser
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20	Mod e simula - Maria Lencastre	Ger Redes Comp - Edison	Ger Proj - Simone Santos		
F 11:20 - 12:10					
G 12:10 - 13:00	PFC - Sérgio Camp	PFC - Sérgio Camp			
H 13:00 - 13:50					

Fig 20. Resultado Grade Horária turma 8 (9º Período). Aula em vermelho não recebeu horário viável.

10º período 2010.2 manhã - Eng.da Computação					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10					
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40					
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20					
F 11:20 - 12:10					

Fig 21. Resultado Grade Horária turma 9 (10º Período).

Bruno Fernandes					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10					
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40					
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20					
F 11:20 - 12:10					

Fig 22. Resultado Grade Horária professor 0 (Bruno Fernandes).

Byron					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10	LP-L Prog Imper - Byron	LP-L Prog Imper - Byron	Est Dados - Byron		
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40					
D 9:40 - 10:30	Est Dados - Byron				
E 10:30 - 11:20					
F 11:20 - 12:10					

Fig 23. Resultado Grade Horária professor 1 (Byron).

Carmelo Bastos					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10	Sist Comunicacão - Carmelo		Sist Comunicacão - Carmelo		
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40	Comunicação Digital 1 - Carmelo				
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20					
F 11:20 - 12:10					

Fig 24. Resultado Grade Horária professor 2 (Carmelo Bastos).

Daniel Chaves					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10	CircComb - Daniel Chaves	Sinais e Sistemas - Daniel Chaves	Microcontrol - Daniel Chaves		
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40	Sinais e Sistemas - Daniel Chaves	CircComb - Daniel Chaves			
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20	Microcontrol - Daniel Chaves	Sinais e Sistemas - Daniel Chaves			
F 11:20 - 12:10					

Fig 25. Resultado Grade Horária professor 3 (Daniel Chaves).

Edison					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10	Ger Redes Comp - Edison				
B 08:00 - 08:50		Redes 1 - Edison		Redes 1 - Edison	
C 08:50 - 09:40					
D 9:40 - 10:30	Redes 1 - Edison	Redes 2 - Edison		Redes 2 - Edison	
E 10:30 - 11:20					
F 11:20 - 12:10	Redes 2 - Edison	Ger Redes Comp - Edison		Ger Redes Comp - Edison	

Fig 26. Resultado Grade Horária professor 4 (Edison).

Eliane Loliola					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10	Proj BD - Eliane Loliola				
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40					
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20					
F 11:20 - 12:10					

Fig 27. Resultado Grade Horária professor 5 (Eliane Loliola).

Fernando Buarque					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10	IA - Fernando Buarque	IA - Fernando Buarque			
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40	Inf e Sociedade - Fernando Buarque				
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20					
F 11:20 - 12:10					

Fig 28. Resultado Grade Horária professor 6 (Fernando Buarque).

Genesio					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10	Ling. Prog O. Obj - Genesio	Apl Eng de Soft - Genesio			
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40	Apl Eng de Soft - Genesio	Ling. Prog O. Obj - Genesio			
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20					
F 11:20 - 12:10	Eng Soft - Genesio				

Fig 29. Resultado Grade Horária professor 7 (Genesio).

Gustavo Carvalho					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10					
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40	Compiladores - Gustavo Carvalho	Compiladores - Gustavo Carvalho			
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20	Proj Comp - Gustavo Carv	Proj Comp - Gustavo Carv			
F 11:20 - 12:10					

Fig 30. Resultado Grade Horária professor 8 (Gustavo Carvalho).

Simone					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10			Sist Info - Simone Santos	Sist Info - Simone Santos	
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40	Ger Proj - Simone Santos		Met Científica - Simone Santos	Met Científica - Simone Santos	
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20			Ger Proj - Simone Santos		
F 11:20 - 12:10					

Fig 31. Resultado Grade Horária professor 9 (Simone).

José Paulo					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10					
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40		Prot Circ Int - José Paulo	Prot Circ Int - José Paulo		
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20	Sist Operacional - José Paulo	Sist Operacional - José Paulo	Eletronica - José Paulo	Eletronica - José Paulo	
F 11:20 - 12:10					

Fig 32. Resultado Grade Horária professor 10 (José Paulo).

Wellington					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10					
B 08:00 - 08:50			Cont Process - Wellington		Cont Process - Wellington
C 08:50 - 09:40					Org Comp - Wellington
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20					
F 11:20 - 12:10				Org Comp - Wellington	

Fig 33. Resultado Grade Horária professor 11 (Luis Carlos).

Maria					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10		Banc Dados - Maria Lencastre		Mod e simula - Maria Lencastre	
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40	Banc Dados - Maria Lencastre				
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20	Mod e simula - Maria Lencastre				
F 11:20 - 12:10					

Fig 34. Resultado Grade Horária professor 12 (Maria Lencastre).

Meuser					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10					Redes Neurais - Meuser
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40		Min de dados - Meuser Valença	Min de dados - Meuser Valença	Redes Neurais - Meuser	
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20					
F 11:20 - 12:10					

Fig 35. Resultado Grade Horária professor 13 (Mêuser). Aula em vermelho não recebeu horário viável.

Sérgio Campello					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10					
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40			Circ Sequ - Sérgio Camp		
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20		Circ Sequ - Sérgio Camp			
F 11:20 - 12:10	PFC - Sérgio Camp	PFC - Sérgio Camp			

Fig 36. Resultado Grade Horária professor 14 (Sérgio Campello). Aulas em amarelo não foram contempladas pelo programa.

Fig 37. Resultado Grade Horária professor 15 (Sérgio Murilo).

Denis					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10					
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40				Ana Proj Soft - Denis Silveira	
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20			Ana Proj Soft - Denis Silveira		
F 11:20 - 12:10					

Fig 38. Resultado Grade Horária professor 16 (Denis).

Fig 39. Resultado Grade Horária professor 17 (Wellington).

Jurany Travassos					
hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A 07:10 - 08:10					
B 08:00 - 08:50					
C 08:50 - 09:40					
D 9:40 - 10:30					
E 10:30 - 11:20			Administração - Jurany		
F 11:20 - 12:10					

Fig 40. Resultado Grade Horária professor 18 (Jurany Travassos).

As aulas em amarelo não foram alocadas (já estavam presentes no mesmo horário e dia na gradehorária de 2010.2). Uma aula do Professor Mêuser da disciplina de Mineração de Dados não pôde ser alocada com as restrições vigentes.

9 Conclusão

Nota-se que existe uma relação entre o *timetabling problem* e o problema de coloração de grafos. Segundo Neufeld *et al.* (1974) a coloração do grafo gerará soluções possíveis, mas nem sempre viáveis. Por isso que essa coloração será apenas uma etapa de todo um processo para a geração de eficientes soluções para o problema.

A Seção 3 apresenta o procedimento criado por Souza *et al.* (2000) que visa a melhoria de soluções já existentes. Ele está presente na heurística descrita em Souza *et al.* (2001), mas poderia também melhorar resultados obtidos pela coloração de grafos de Neufeld *et al.* (1974). Souza *et al.* (2000) mostra também a importância de um estudo mais aprofundado de Souza *et al.* (2001) e de outras heurísticas existentes.

O programa feito foi limitado, pois gerou apenas uma solução inicial, porém gera soluções que atendem restrições básicas e pode com melhorias futuras gerar uma grade de horário eficiente.

10 Agradecimentos

Ao PIBIC-POLI pela concessão da bolsa.

Referências

- [1] BEASLEY D. Why Evolutionary Computation, in Bäck, T., Fogel, D. B. & Michalewicz, Z. Handbook of Evolutionary Computation, Oxford University Press, 1997.
- [2] CHU, S. C; FANG, H. L. Genetic Algorithms vs. Tabu Search in Timetable Scheduling. In: KNOWLEDGE-BASED INTELLIGENT INFORMATION ENGINEERING SYSTEMS, Third International Conference, Adelaide, SA, Australia, 1999, pp. 492-495.
- [3] EVEN, S., Itai, A. E., Shamir, A. (1976). *On the complexity of timetabling and multicommodity flow problems*. SIAM Journal of Computing, 5:691-703.
- [4] FRIEDMANN, C.V.P., Markenzon, L., Waga, C.F.E. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 42., 2010. Rio Grande do Sul. Algoritmos Polinomiais para Colorações Ótimas em Algumas Famílias de Grafos. Saúde Humana, Saúde Animal e Ecossistema. São Paulo.
- [5] KOFFMAN E. B; WOLFGANG P. A. T. *Objetos, Abstração, Estrutura de Dados e Projeto Usando JAVA 5.0*. 1st ed. LTC. 2008. 708p.
- [6] NEUFELD, G. A; TARTAR J. *Graph Coloring Conditions for the Existence of Solutions to the Timetable Problem*. Communications of the ACM, v. 17, n. 8, p. 450-453, Agosto, 1974.
- [7] SCHAERF, A., *A Survey of Automated Timetabling*, Artificial Intelligence Review, No. 13, 1999, pp. 87-127..
- [8] SILVA, D. J; SILVA G. C. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 42., 2010. Rio Grande do Sul. Heurísticas Baseadas no Algoritmo de Coloração de Grafos para o Problema de Alocação de Salas em uma Instituição de Ensino Superior. Saúde Humana, Saúde Animal e Ecossistema. São Paulo
- [9] SOUZA, M. J. F; MACULAN N; OCHI L.S. *Melhorando Quadros de Horário de Escolas através de Caminhos Mínimos*. Tendências em Matemática Aplicada e Computacional, v. 1, n. 2, p. 515-524, 2000.
- [10] SOUZA, M. J. F; MACULAN N; OCHI L.S. Uma Heurística para o Problema de Programação de Horários em Escolas. Tendências em Matemática Aplicada e Computacional, v. 2,n. 1, p. 213-222, 2001.
- [11] VIANA, G. V. R. *Meta-heurísticas para Solução de Problemas de Otimização Combinatória*. 1996. 214 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

Alocação de Comprimentos de onda em Redes Ópticas Translúcidas utilizando Computação Evolucionária

Silva, R. C. L.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
rcls@ecomp.poli.br

Bastos-Filho, C. J. A.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
carmelo@ecomp.poli.br

Resumo

O NrPSR é um novo algoritmo de roteamento adaptativo-alternativo para redes totalmente ópticas. Nesse algoritmo são achadas as Nr melhores rotas disjuntas para um dado par origem-destino segundo o algoritmo de Yen e cada rota é valorada utilizando a função custo PSR. Com o intuito de testar o desempenho e provar a robustez do algoritmo NrPSR foi realizado, nesse projeto, um conjunto de simulações nas quais foram feitas variações de cenário. Para efeito de comparação foram utilizados os resultados obtidos com algoritmos já conhecidos na literatura.

Abstract

The NrPSR is a new adaptive-alternative routing algorithm for all-optical networks. In this algorithm are found the Nr best disjoint routes for a given pair source-destination according the Yen algorithm and each route is valued using the PSR cost function. In order of test the performance and prove the algorithm strength was realized, in this project, a simulation set in which were made scenarios variations. For comparison were used the results obtained with algorithms known in the literature.

1 Introdução

O aumento da demanda de tráfego de serviços de telecomunicação vem crescendo a cada dia. Atualmente, as tecnologias implantadas nas redes de comunicações não possuem recursos para suprir a demanda prevista. A única alternativa viável para atender a este crescente aumento da demanda de tráfego de serviços de telecomunicações é a utilização de redes ópticas [1], pois elas propiciam uma alta capacidade de transmissão, baixa atenuação de sinal, baixa dispersão de sinal e um baixo custo por bit transmitido.

As redes ópticas podem ser divididas em opacas, transparentes ou translúcidas [2]. As redes ópticas opacas são aquelas que possuem regeneradores de sinal em todos os nós da rede. As redes ópticas transparentes não possuem regeneradores e operam totalmente em domínio óptico. As redes translúcidas possuem regeneradores em alguns nós da rede, tentando dessa forma balancear o custo. Regeneradores são caros, mas são dispositivos capazes de recuperar a qualidade do sinal em redes impactadas por penalidades da camada física [1].

As redes ópticas com gerenciamento dinâmico que utilizam a tecnologia de multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM) possuem dois problemas: roteamento e alocação de comprimentos de onda (RWA). O primeiro consiste em encontrar uma rota entre os nós origem e destino da requisição de conexão (RA). O segundo trata-se de selecionar um comprimento de onda disponível no percurso (WA). Para resolver esses problemas existem duas abordagens: resolver os dois problemas de forma conjunta ou solucioná-los de forma separada.

Para resolução do problema roteamento a estratégia mais comumente usada é a utilização do algoritmo de *Dijkstra*, no qual é atribuída a chamada o caminho com menor distância, porém existem vários algoritmos na literatura que tentam resolver esse problema levando em consideração outras métricas como menor número de fibras percorridas, caminho menos congestionado, ou através de funções custo que levam em consideração o estado atual da rede. Entre os algoritmos clássicos para WA podem ser citados [3]: *First Fit* (FF), *Random-Pick* (RP), *Most Used* (MU), *Least Used* (LU), *Max-Sum* (MS), *Relative Capacity Loss* (RCL) e o *Distributed Relative Capacity Loss* (DRCL). Esses algoritmos levam em consideração a carga da rede e alocam o comprimento de onda abstraindo qualquer penalidade no canal. Recentemente, foram propostos alguns algoritmos de WA que consideram efeitos da camada física (IA-WA) como o *FFwO* [4], *FFwSS* [5], *AFFwSS* [6], *Best Fit* (BF) [7] e *Just Enough* (JE) [7].

Nesse projeto teve-se como principal objetivo fazer testes entre os algoritmos de WA e RA e o algoritmo de roteamento NrPSR. O NrPSR um novo algoritmo de roteamento adaptativo-alternativo para redes totalmente ópticas proposto pelo Prof. Dr. Carmelo José Albanes Bastos-Filho, o aluno de mestrado André Xavier e colaboradores. Nessa nova abordagem para resolver o sub-problema de roteamento são achadas as *Nr* melhores rotas disjuntas para um par de nós origem-destino segundo o algoritmo de Yen [8] e cada rota é valorada utilizando a função custo PSR [9] (*Power Series Routing*). O desempenho das *Nr* rotas é calculada segundo uma das políticas de escolha de rota. Foram desenvolvidas três possíveis políticas a serem utilizadas pelo algoritmo, *Capacity Loss* (CL), *Maximum Wavelength Matching Factor* (MaxK) e *Minimum Wavelength Matching Factor* (MinK). A primeira baseia-se no funcionamento do DRCL e tenta diminuir a perda de capacidade da rede escolhendo a rota com menor número de enlaces. A segunda política, escolhe a rota com a maior quantidade de comprimentos de onda livres. A terceira, escolhe para a chamada a rota que obtiver o menor número de comprimento de ondas livres. Abaixo é mostrado o pseudocódigo do algoritmo NrPSR.

Algoritmo 1. Pseudocódigo do NrPSR

1. Entrada: Topologia, Nós fonte e destino, *Nr*
2. Para cada uma das *Nr* rotas encontradas faça
3. Procure uma nova rota valorada pela função custo PSR do nó fonte ao destino;
4. Armazene a rota encontrada;
5. Fim do Para
6. Avalie o desempenho de cada rota encontrada, conforme a política estabelecida;
7. Retorne: a rota com melhor desempenho.

Esse novo algoritmo utiliza-se do PSR que é uma função aplicada para se construir uma função adaptativa a ser utilizada em redes ópticas. Essa função está baseada na expansão da função custo em série de potência. Nele, parâmetros de redes simples como disponibilidade e comprimento do enlace são usados como variável de entrada. A sua construção consiste, basicamente, de três passos: escolha dos parâmetros que serão levados em consideração, expansão da função de custo em termos de série e utilizar de um algoritmo de otimização para encontrar os melhores coeficientes para a série. O processo encontra-se descrito na tabela abaixo.

Tabela 1. Passos para construção do PSR

Função	Descrição	Implementação
Passo 1	Escolha das variáveis da função custo do enlace.	Especialista determina quais variáveis devem ser utilizadas.
Passo 2	Expansão da função custo em série.	Podem ser utilizadas várias séries.
Passo 3	Determinação dos coeficientes da série.	Uso de algum algoritmo de otimização

Devido à impossibilidade de achar analiticamente o desempenho dos algoritmos de WA em conjunto com o NrPSR nas redes ópticas e a inexistência de sistemas reais disponíveis para medições, todos os testes de desempenho foram realizados no SIMTON [10]. O SIMTON é uma plataforma computacional de simulação de redes ópticas desenvolvida em colaboração científica entre a Universidade de Pernambuco e a Universidade Federal de Pernambuco. Em seguida é mostrado a tela principal do SIMTON.

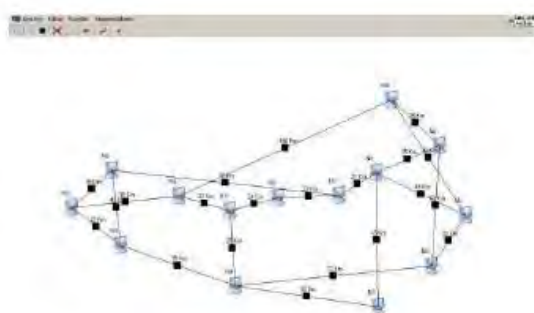


Figura 1 - Tela Principal do simulador de redes ópticas SIMTON.

Paralelamente, esse projeto o bolsista de iniciação científica realizou pesquisa no campo de sobrevivência em redes totalmente ópticas. Em redes ópticas uma falha em um elemento de rede pode causar danos a várias chamadas ativas na rede. Devido a isso todas as redes deveriam ser tolerantes a falha para evitar interrupção dos serviços. As principais causas de falhas em redes ópticas são:

- Erro humano como a quebra de algum cabo de fibra ótica por alguém operando uma retroescavadeira;
- Falha de equipamentos como o mau funcionamento de transmissores, receptores ou controladores;
- Desastres naturais como terremotos, enchentes e outros.

A restauração de falhas é uma técnica de sobrevivência utilizada em redes ópticas. Nessa técnica, uma nova rota disponível é encontrada dinamicamente para cada chamada que esteja passando no ponto de falha da rede. Há duas formas clássicas de restauração: restauração por enlace, no qual é encontrado um novo caminho entre o nó anterior e posterior a falha, e restauração por caminho no qual a rota que sofreu a falha tem seus recursos liberados e é encontrada uma nova rota para a chamada.

2 Trabalhos Relacionados

O PSO é uma técnica de inteligência computacional proposta por Kennedy e Eberhart em 1995 e sua descoberta foi feita a partir do estudo do comportamento da formação dos pássaros em um bando em voo. Essa técnica é composta por um conjunto de partículas, o qual é denominado enxame. A posição de cada partícula no espaço de busca representa uma possível solução para o problema a ser otimizado. Basicamente, uma partícula contém três informações, que podem ou não serem atualizadas a cada iteração, são elas: sua velocidade, a sua posição atual e a melhor posição alcançada. No início do algoritmo, as partículas são criadas de forma aleatória, uniformemente distribuída, ao longo do espaço de busca. Uma vez criadas, estas partículas movem-se, a cada iteração, ao longo do espaço de busca regida por equações simples de atualização de posição e velocidade. Abaixo, está apresentado o pseudocódigo do PSO.

Algoritmo 2. Pseudocódigo do PSO.

```

1.  Geração de partículas aleatórias;
2.  Para cada iteração i faça
3.    Para cada partícula i do enxame faça
4.      Calcule a nova velocidade da partícula i;
5.      Calcule a nova posição da partícula i;
6.      Calcule a aptidão da partícula i;
7.      Se a posição atual é a melhor já encontrada então
8.        Defina a melhor posição como posição atual;
9.      Fim do Se
10.     Se a posição atual é a melhor já encontrada pelo enxame
então
11.       Defina a melhor posição do enxame como posição
atual;
12.     Fim do Se
13.   Fim do Para
14. Fim do Para

```

3 Configuração da Simulação

Na implementação do PSO, o fitness, ou aptidão da partícula é representada pela probabilidade de bloqueio dela após uma simulação de 100.000 chamadas a rede utilizando como coeficientes da função custo PSR, as suas posições no espaço de busca. Dessa forma ao fim da etapa de treinamento, a partícula que possuir a menor probabilidade de bloqueio será a mais apta, logo será a que possui os melhores coeficientes para a especificação de rede utilizada.

Nas simulações do PSO foram definidas que a etapa de treinamento possuiria 200 iterações e que o enxame, 30 partículas. Também ficou definido que a topologia de comunicação entre as partículas seria a topologia na qual cada partícula pode se comunicar apenas com suas vizinhas, lBest. Utilizando esse tipo de vizinhança as partículas ficam menos susceptíveis a ficarem presas em pontos de mínimos locais.

Todas as variáveis descritas anteriormente: número de chamadas, de iterações, de partículas e o tipo de topologia de comunicação já foram citadas na literatura [9] como o melhor conjunto de valores para a resolução desse problema. Na tabela 1 estão outras informações referentes a etapa de treinamento do PSO.

Tabela 2. Parâmetros da etapa de treinamento.

Parâmetro	Valor	Definição
$c1, c2$	2,05	Parâmetro para atualizar a velocidade.
$\epsilon1, \epsilon2$	$U[0,1]$	Números aleatórios para distribuição uniforme.
X	0,72984	Constriction Factor.
S	$[-1,+1]$	Espaço de busca do PSO.
V	$[-1,+1]$	Velocidade.

Nas simulações realizadas para analisar a probabilidade de bloqueio foi assumido uma rede comutada por circuito e uma conexão bidirecional. As penalidades da rede utilizadas foram: a emissão espontânea do amplificador (*Amplified Spontaneous Emission* – ASE), dispersão do modo de polarização (*Polarization Mode Dispersion* – PMD), interferência entre canais e o efeito de ganho de saturação nos amplificadores. Em [11] pode ser encontrado os parâmetros utilizados nas simulações.

4 Resultados

Foi realizado um conjunto de simulações nas quais foram feitas variações de política de escolha de rotas, carga da rede, topologia de rede, formato de tráfego e algoritmo de alocação de comprimento de onda. Nessas simulações foi utilizada o número de rotas (Nr) como 3.

Dentre as três políticas de escolha de rota utilizadas pelo algoritmo foi notado que a CL e o MaxK obtiveram melhores resultados em comparação com a MinK. A explicação para o resultado obtido pela MinK se dá ao fato que rotas que possuem mais canais ativos, ou seja com menos comprimentos de ondas livres, são mais penalizadas e acabam sendo bloqueadas devido a qualidade do sinal. Em seguida é exibido o gráfico de probabilidade de bloqueio por carga dessas políticas em duas redes bastante conhecidas na literatura.

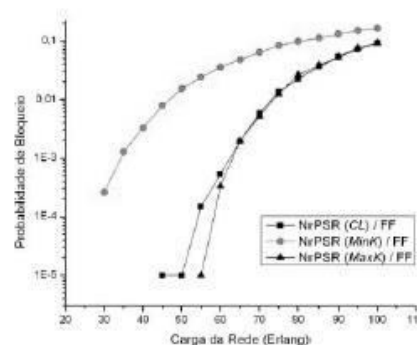


Figura 2 - Gráfico de comparação das políticas na rede NSFNet.

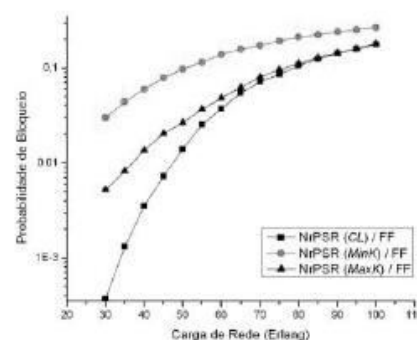


Figura 3. Gráfico de comparação das políticas na rede Pacific Bell Modificada.

Na Fig. 4, nota-se que as políticas MaxK e CL obtiveram resultados semelhantes na rede NSFNet, sendo o MaxK levemente melhor em alguns pontos de carga. Na Fig. 5, agora na rede Pacific Bell Modificada, a política CL obteve um resultado melhor ou igual a obtida pelo MaxK. Em ambas simulações foram utilizado o algoritmo de comprimento de onda FF, porém resultados semelhantes foram encontrados utilizando os algoritmos MU e DRCL em conjunto com o NrPSR.

Após a análise dos resultados obtidos nas simulações entre as políticas do NrPSR, foram escolhidos as políticas CL e o MaxK para comparação com outros algoritmos nas redes Pacific Bell e NSFNet, respectivamente. Os algoritmos a serem comparados foram: o *Shortest Path* (SP) no qual é escolhida a rota com menor distância, *Minimum Hop* (MinHops) no qual a rota escolhida possui a menor quantidade de enlaces, OSRN-R no qual é escolhida a rota com maior relação sinal ruído e o PSR. O resultados obtidos na comparação com outros algoritmos mostraram que em ambas redes utilizadas, o algoritmo NrPSR obteve uma probabilidade de bloqueio menor que todos os outros algoritmos de roteamentos testados. Além da variação das redes, foram feitas variações de algoritmos de alocação de comprimento de onda e nos 6 (seis) cenários testados o algoritmo proposto obteve resultado expressivamente

melhor. Essa superioridade do NrPSR fica visualmente evidente nos gráficos de probabilidade de bloqueio por carga mostrados a seguir.

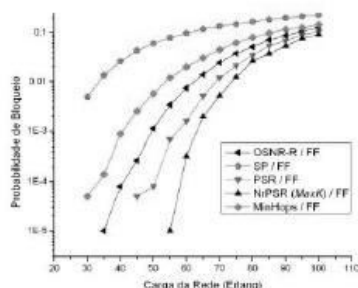


Figura 4. Comparação dos algoritmos de roteamento na rede NSFNet utilizando o WA FF.

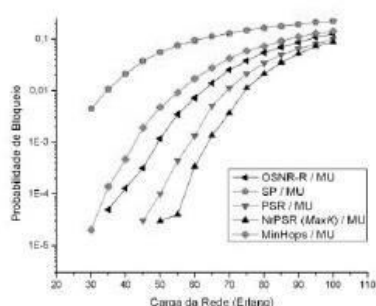


Figura 5. Comparação dos algoritmos de roteamento na rede NSFNet utilizando o WA MU.

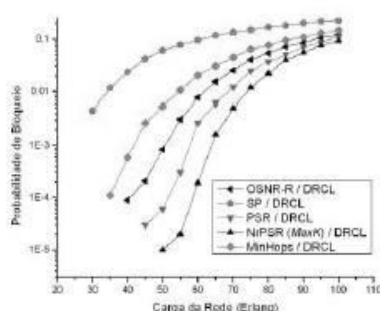


Figura 6. Comparação dos algoritmos de roteamento na rede NSFNet utilizando o WA DRCL.

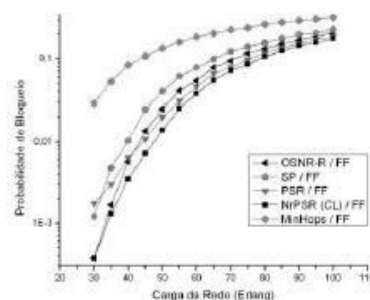


Figura 7. Comparação dos algoritmos de roteamento na rede Pacific Bell Modificada utilizando o WA FF.

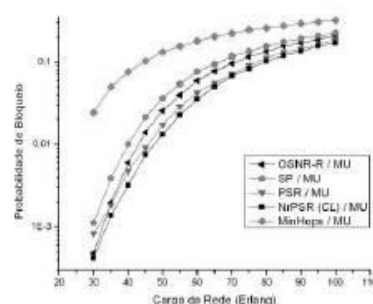


Figura 8. Comparação dos algoritmos de roteamento na rede Pacific Bell Modificada utilizando o WA MU.

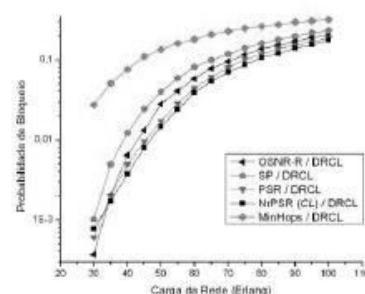


Figura 9. Comparação dos algoritmos de roteamento na rede Pacific Bell Modificada utilizando o WA DRCL.

Nas simulações realizadas também foram analisados o tempo necessário para os algoritmos resolverem o problema de RWA em ambas as redes com os três WA utilizados. No geral foi observado que o OSNR-R obteve o maior tempo devido a computação necessária para encontrar a rota com a melhor relação sinal ruído. O NrPSR ficou em segundo lugar devido, principalmente, a sua necessidade de calcular $Nr-1$ rotas extras em relação aos outros algoritmos. O PSR, MinHops e SP, obtiveram resultados semelhantes já que podem ser considerados algoritmos estáticos. Ainda na análise de tempo, foi observado que as simulações nas quais eram utilizado o DRCL obteve o maior tempo, devido ao cálculo da perda de capacidade re-

lativa em toda a rede [3], e as que utilizaram o FF resolverem o problema de RWA com menor tempo. Abaixo é mostrado o gráfico de tempo de resolução do RWA por carga dos algoritmos de alocação FF e DRCL em ambas as redes.

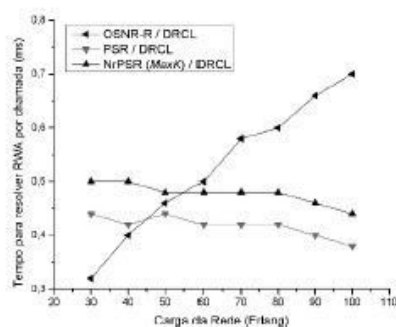


Figura 10. Gráfico do desempenho da resolução do RWA utilizando DRCL na NSFNet.

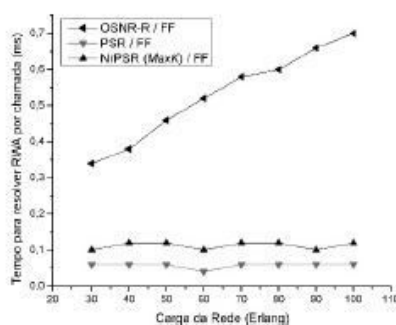


Figura 11. Gráfico do desempenho da resolução de RWA utilizando FF na NSFNet.

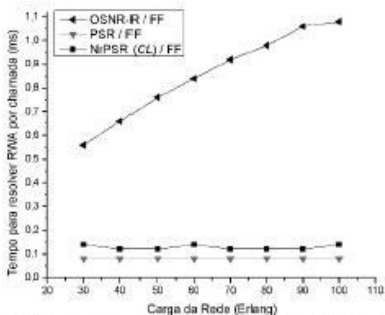


Figura 12. Gráfico do desempenho da resolução do RWA utilizando FF na Pacific Bell Modificada.

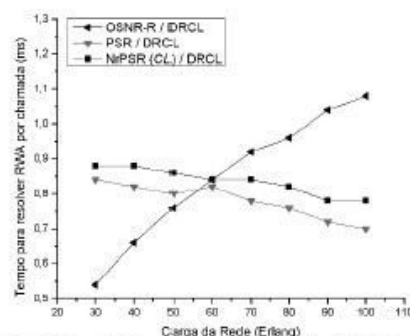


Figura 13. Gráfico do desempenho da resolução de RWA utilizando DRCL na Pacific Bell Modificada.

Para testar a robustez do algoritmo foi utilizado na análise em R. Nessa análise é dado ao algoritmo uma matriz de tráfego uniforme no qual simula a variação do tráfego ao longo do dia. No caso testado foi utilizada a maior variação de tráfego na matriz ($R=100\%$). Os resultados obtidos mostraram que mesmo com tráfego uniforme o algoritmo proposto mostrou melhor desempenho em todos os cenários. Essa conclusão fica explícita na visualização dos box-plots criados com o resultado obtidos nos cenários simulados.

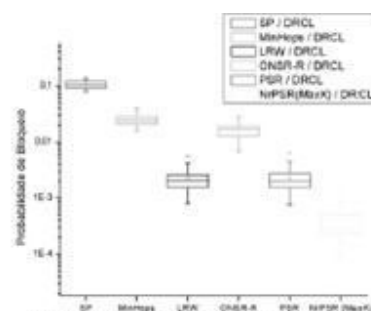


Figura 14. Análise em R utilizando DRCL na NSFNet.

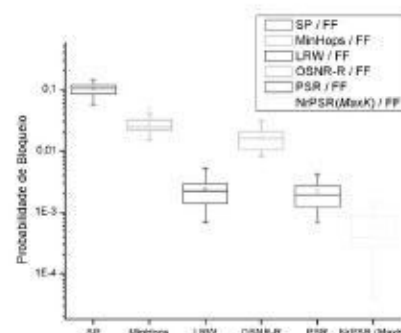


Figura 15. Análise em R utilizando FF na NSFNet.

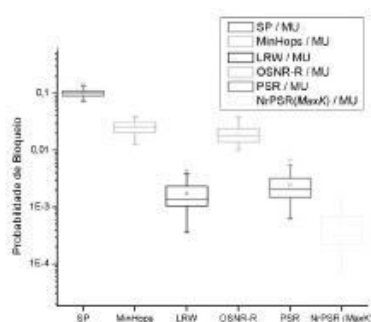


Figura 16. Análise em R utilizando MU na NSFNet.

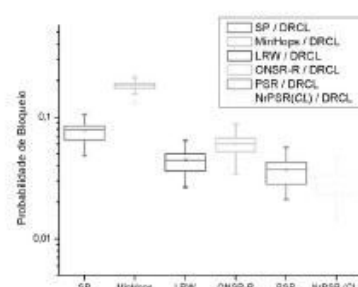


Figura 17. Análise em R utilizando DRCL na Pacific Bell Modificada.

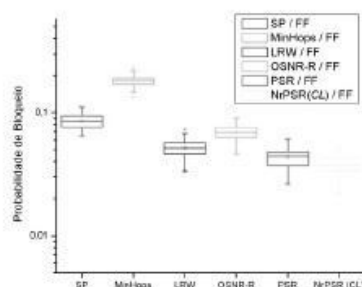


Figura 18. Análise em R utilizando FF na Pacific Bell Modificada.

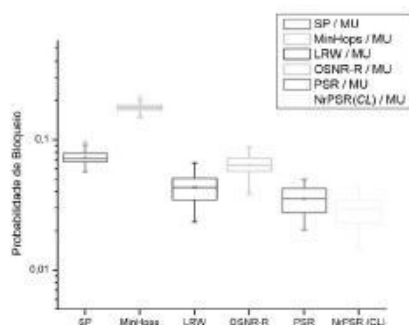


Figura 19. Análise em R utilizando MU na Pacific Bell Modificada.

No campo de sobrevivência em redes ópticas foram obtidos resultados bastante animadores em restauração de

falhas simples e falhas duplas. Nessas simulações foram comparados os desempenhos dos algoritmos MinHops, LRW, SP e OSNR-R em situações nas quais as falhas eram geradas a partir de um determinado momento em todos os enlaces da rede simulada. Os resultados obtidos mostraram que o algoritmo de roteamento OSNR-R obteve uma taxa de falha na restauração menor que os outros algoritmos testados tanto nas situações com falhas duplas e simples. Abaixo estão dispostos alguns gráficos que comprovam o melhor desempenho do OSNR-R.

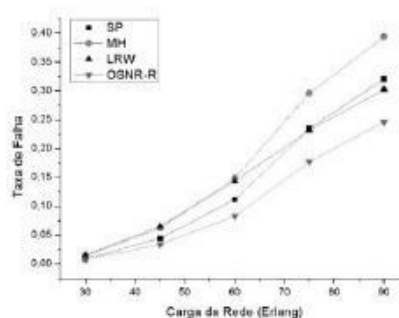


Figura 20. Restauração de falha simples na Pacific Bell Modificada com 21 comprimentos de ondas.

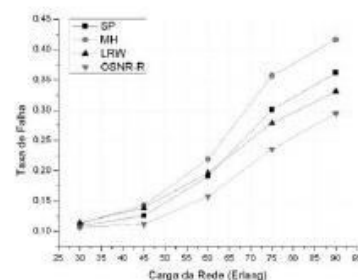


Figura 21. Restauração de falha dupla na Pacific Bell utilizando 21 comprimentos de ondas.

5 Conclusão

Esse projeto propôs realizar testes de desempenho, entre os algoritmos de RA e WA e a nova proposta de algoritmo de roteamento adaptativo-alternativo NrPSR. O algoritmo testado é proposta de RA do Prof. Dr. Carmelo José Albanéz Bastos-Filho, o aluno de mestrado André Xavier e colaboradores. Basicamente, nessa nova abordagem são achadas as Nr melhores rotas disjuntas para um par de nós origem-destino assim como o algoritmo de Yen e cada rota é valorada utilizando a função custo PSR.

Na análise o NrPSR foi comparado com quatro conhecidos algoritmos: *Shortest Path*, *Minimum Hops*, OSNR-R e PSR. Nas simulações foram feitas variações, principal-

mente, na topologia da rede, carga da rede, política de escolha de rota e o algoritmo de alocação de comprimento de onda. Em todos os cenários testados o algoritmo proposto obteve uma probabilidade de bloqueio menor que os outros algoritmos de roteamento. Dentre as três políticas de escolha de rota utilizados nos testes foi comprovado que a MaxK e a CL são superiores ao MinK. Em contrapartida, NrPSR mostrou-se mais custoso computacionalmente que outros três algoritmos devido a sua necessidade de calcular rotas extras.

Por fim, os resultados obtidos foram enviados e aceitos em forma de artigo no 2011 SBMO/IEEE *International Microwave Optoelectronics Conference* (IMOC 2011). O IMOC é um fórum bienal de tecnologia de telecomunicação organizado pela Sociedade Brasileira de Microondas e Optoeletrônica (SBMO) e co-patrocinado pela IEEE *Microwave Theory and Techniques Society of the Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE MTT-S)

Referências

- [1] X. Yang, B. Ramamurthy. *Sparse regeneration in translucent wavelength-routed optical networks: Architecture, network desing and wavelength routing*. Photonic Network Communications, v. 10, n. 1, p. 39–53, 2005.
- [2] R. Ramamurth, B. Mukherjee et al. *Transparent vs. opaque vs. translucent wavelength routed optical networks*. OFC/IOOC 1999. v.1, p. 59–61,1999.
- [3] H. Zang ; J. P. Jue, B. Murkherjee, *A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical wdm networks*, Optical Networks Magazine, v. 1, n. 1, p. 47–60, Janeiro 2000.
- [4] J. He; M. Brandt-Pearce. *RWA using wavelength ordering for crosstalk limited networks*. OFC 2006, p. 3.
- [5] J. He; M. Brandt-Pearce. *Dynamic Wavelength Assignment Using Wavelength Spectrum Separation for Crosstalk Limited Networks*, BROAD-NETS 2006, p. 1-9.
- [6] J. He; M. Brandt-Pearce, Y. Pointurier et al., *Adaptive Wavelength Assignment Using Wavelength Spectrum Separation for Distributed Optical Networks*. Proc. of the IEEE International Conference on Communications - ICC, June 2007, p. 2406-2411.
- [7] N. Zulkifli, R. C. Almeida, K. M. Guild, *Efficient resource allocation of heterogeneous services in transparent optical networks*, Journal of Optical Networking, v. 6, n. 12, p. 1349-1359, Dezembro. 2007.
- [8] J. Y. Yen, *Finding the K shortest loopless paths in a network*. Management Science, p. 712-716, julho 1971.
- [9] Chaves, D. A. C. Algoritmos Rápidos de IRWA para redes totalmente ópticas. 28 de fevereiro de 2008. p. 104. Dissertação. Programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica.
- [10] D. A. R. Chaves, J. F. Martins-Filho, C. J. A. Bastos-Filho, Ferramenta computacional para simulação de redes ópticas transparentes . MOMAG 2008 – evento agregado ao 13º SBMO Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica e o 8º CBMag Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo, Florianópolis, 2008.
- [11] Xavier, A. V. S., Silva, R. C. L., Bastos-Filho, C. J. A., Martins-Filho, J. F., Chaves, D. A. R. *An Adaptive-Alternative Routing Algorithm for All-Optical Networks*. International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC'2011), 2011, Recife. SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference, 2011.

Códigos Corretores de Erro Aplicados a Redes de Sensores sem Fio

Aguiar, R. M. D.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
rodrigodonato@yahoo.com.br

Cunha, D. C.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
dccunha@upe.poli.br

Resumo

Em comunicações envolvendo redes de sensores sem fio, erros introduzidos devido à natureza ruidosa do canal são comuns. A utilização de códigos corretores de erro tem o objetivo de proteger a informação transmitida contra os erros de canal, proporcionando um melhor desempenho ao sistema. Além disso, o uso de códigos corretores reduz o consumo de energia dos componentes da rede, aumentando a vida útil de sua estrutura física e diminuindo o custo de sua manutenção. O presente trabalho se propõe a analisar alguns esquemas tradicionais de codificação e controle de erros aplicados a redes de sensores sem fio.

Abstract

On communications by sensor wireless networks, errors introduced due to the noise nature of the channel are usual. The use of error correcting codes is intended to protect the information against channel errors, providing the system a better performance. Moreover, the use of error correcting codes, reduce energy consumption by the network components, increasing its hardware service life and reducing maintenance costs. This work proposes to analyze some major schemes of error control codes applied to wireless sensor networks.

1 Introdução

Boa parte dos códigos corretores de erros se baseia em um mesmo princípio básico: a adição de redundância à informação com o objetivo de corrigir erros que possam ocorrer no processo de gravação ou transmissão de dados [1]. No contexto das comunicações, a informação transmitida pode ser degenerada pelo ruído ao longo do meio de transmissão. Daí, o receptor deve verificar o quanto esta informação foi afetada e tentar recuperar a informação original. Em geral, quanto mais redundância se adiciona à informação, mais proteção se obtém contra o ruído. Dentre as classes de códigos utilizadas em sistemas de comunicação, os códigos de bloco lineares constituem uma das principais técnicas de codificação e controle de erros. Esta classe de códigos é empregada em diversas modalidades de sistemas de comunicação, como, por exemplo, as redes de sensores sem fio (RSSF) [2].

Uma das formas de se empregar códigos corretores de erros em RSSFs denomina-se codificação cooperativa [3]. Na realidade, o uso de códigos corretores de erros neste contexto aborda apenas uma parte do sistema de comunicação que utiliza uma técnica conhecida como comunicação cooperativa. A idéia básica da comunicação cooperativa consiste no fato de que usuários móveis, portadores de uma antena simples, possam compartilhar suas antenas de tal modo que um ambiente virtual de múltiplas antenas possa ser criado [4].

O objetivo da comunicação cooperativa é fornecer diversidade ao sistema e com isso, permitir a melhoria de desempenho com a redução da probabilidade de erro.

Diante do exposto, o presente trabalho se destina a estudar esquemas de codificação de canal aplicados a sistemas de comunicação cooperativa com o objetivo de propor alguma modificação na intenção de obter melhorias de desempenho frente aos resultados conhecidos na literatura.

2 Redes de Sensores sem Fio

Uma RSSF pode ser definida dentro de contextos diversos. No contexto das comunicações, podemos entendê-la como um conjunto de sensores implantados numa rede *ad hoc*, i.e., uma rede onde os dispositivos são parte da rede somente quando estão suficientemente próximos de modo que seja possível realizar transmissões entre eles.

Outro modo de entender as RSSF é como um conjunto de nós individuais (sensores) que operam sozinhos, mas que podem formar uma rede com o objetivo de juntar as informações individuais de cada sensor.

A melhoria no desempenho desse tipo de rede é interessante, e tem motivado um volume grande de pesquisas

na área, pois pode significar uma redução no consumo de energia dos sensores. Como em muitas aplicações a substituição das baterias dos nós pode ser impraticável, é interessante que a vida útil delas aumente.

Outro aspecto relacionado ao consumo energético por parte dos sensores consiste no número de retransmissões em sistemas de comunicação que utilizam a técnica ARQ (*Automatic Repeat reQuest*). Nesses sistemas um nó da rede (sensor) pode receber um pacote de dados corrompido devido ao ruído e decidir descartar a informação e exigir uma nova transmissão.

Diminuir a probabilidade de erros na transmissão de dados nesse tipo de rede é essencial para melhorar a qualidade dos serviços tecnológicos que dependem das mesmas, e a codificação de canal apresenta-se como uma alternativa de baixo custo.

3 Modelos de Canal

O canal, meio físico por onde a transmissão dos dados ocorre, será descrito por um modelo matemático estatístico e nesse caso discreto. A modelagem estatística considera a entrada (sinal enviado) como uma variável aleatória (VA) e a saída (sinal recebido) como uma versão ruidosa da VA da entrada.

O modulador e o demodulador só possuem dois símbolos disponíveis para representar a mensagem, normalmente os símbolos utilizados são “1” e “0”. A emissão destes símbolos, de cada *bit*, é independente, i.e, não depende dos símbolos anteriores. Essa propriedade é que caracteriza o canal como sem memória.

Nesse trabalho são considerados dois tipos de canal, com duas características típicas de sistemas físicos reais. Um canal com ruído AWGN e outro com ruído AWGN e desvanecimento Rayleigh.

3.1 Estilos

O movimento térmico de moléculas, em especial dos elétrons nos elementos dissipadores presentes em um circuito, dá origem a um tipo de ruído muito comum em sistemas de comunicação. Um modelo teórico simples considera que a potência do ruído possui uma distribuição espectral uniforme, ou seja, considera que uma fonte térmica de ruído emana uma quantidade idêntica de potência por unidade de largura da banda.

O modelo matemático que se enquadra nessas características é o gaussiano, descrito estatisticamente pela seguinte equação:

$$p(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{n}{\sigma}\right)^2\right] \quad (1)$$

em que σ^2 é a variância de n .

O comportamento da VA acima pode ser visualizado na Fig.1, onde estão plotadas a função densidade de probabilidade (pdf, *probability density function*) definida pela equação (1) e um histograma obtido de uma amostragem feita no computador.

A forma mais simples de considerar o ruído branco gaussiano (branco em analogia à luz branca que possui partes iguais de todas as frequências do espectro visível da radiação eletromagnética) é a aditiva, onde o ruído é simplesmente adicionado ao sinal. O ruído gaussiano branco aditivo é conhecido pela sua sigla em inglês, AWGN – *Additive White Gaussian Noise*.

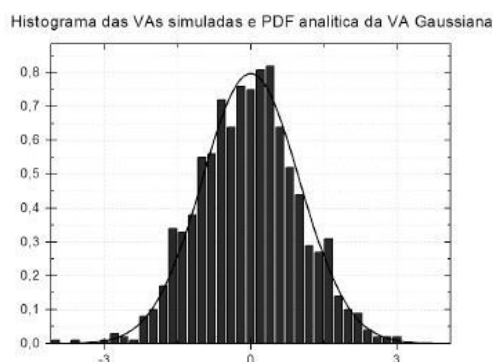


Fig. 1 – Histograma e PDF das VAs Gaussianas.

3.2 Canal com Ruído AWGN e Desvanecimento Rayleigh

Entendido os aspectos básicos do canal com ruído AWGN podemos acrescentar outro aspecto presente em transmissões de dados de uma forma geral. Desvanecimento é um fenômeno comum em transmissões guiadas ou por *broadcast* que significa a perda de potência do sinal na medida em que este se propaga através do canal.

Dentre os modelos de desvanecimento o de Rayleigh foi utilizado, que assim como o ruído gaussiano, possui espectro amplo. O desvanecimento é introduzido no sistema de comunicação simulado como uma atenuação no sinal transmitido.

Na Fig.2 pode-se observar a pdf da distribuição Rayleigh e o resultado de uma amostragem das variáveis simuladas no computador.

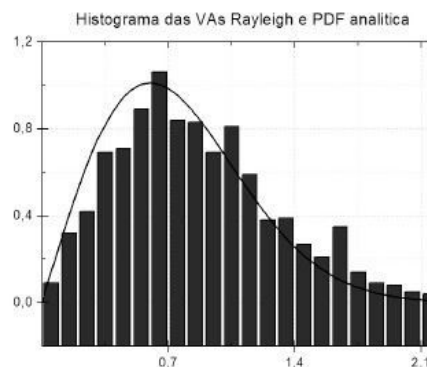


Fig.2 – Histograma e PDF das VAs Rayleigh

4 Esquemas de Codificação

Os códigos corretores de erros são introduzidos para diminuir a probabilidade de erro na transmissão do sinal. A adição de redundância na mensagem é um recurso comumente utilizado para essa finalidade. O codificador de canal (presente no transmissor) aceita bits de mensagem e adiciona redundância de acordo com uma regra bem definida. O decodificador explora a redundância para decidir quais bits foram de fato transmitidos.

A literatura considera basicamente duas classes de codificação: a de bloco e a convolucional [1]. A diferença entre as duas é a presença ou ausência de memória. O estudo se concentrará em códigos de bloco lineares.

Nos códigos de bloco $C(n,k)$, o codificador aceita grupos sucessivos de k bits de mensagem e adiciona $(n - k)$ bits de redundância obedecendo uma regra específica, que relaciona os $(n - k)$ bits de mensagem aos k de paridade. Cada bloco de n bits forma então uma palavra-código. No caso particular onde duas palavras código quaisquer puderem ser somadas em aritmética módulo-2 para produzir uma terceira palavra código, este é dito ser linear. A restrição para aritmética módulo-2 se aplica somente a sistemas binários, o essencial a um código de bloco linear é que, escolhida a aritmética, a soma de duas palavras códigos ainda seja uma palavra código do mesmo código.

4.1 Códigos de Hamming

Um dos códigos de bloco mais utilizados é o código de Hamming, que são os códigos que possuem as seguintes características:

$$\begin{aligned}n &= 2^m - 1 \\k &= 2^m - m - 1 \\n - k &= m, \text{ com } m \geq 3\end{aligned}$$

Dessa forma vários códigos podem ser gerados como, por exemplo, C1(7, 4) e C2(15, 11).

De forma resumida, podemos entender o processo até agora da seguinte forma: O codificador utiliza a matriz geradora para construir as palavras código e o decodificador a transposta da matriz de verificação de paridade. Para entender como ocorre a correção de erros o conceito de *síndrome* deve ser introduzido. O vetor de síndrome é definido da seguinte forma:

$$s = rH^T$$

que depende somente do vetor padrão de erro[5]:

$$s = eH^T$$

Outro conceito importante é o de distância mínima que determina a capacidade de correção de um código, que por sua vez depende da introdução dos conceitos de distância de Hamming e Peso de Hamming, que seguem:

-Distância de Hamming: A distância de Hamming é definida entre dois vetores como sendo o número de posições onde os dois vetores diferem.

-Peso de Hamming: É a distância de Hamming entre um vetor qualquer e o vetor nulo.

A distância mínima de um código é então definida como sendo a menor distância de Hamming entre todos os pares de palavras código.

Um código é capaz de corrigir até t erros de uma palavra recebida, desde que a distância mínima entre as palavras seja, pelo menos, $2t+1$.

O processo de correção depende do cálculo da construção do *arranjo padrão*, que pode ser entendida como uma tabela onde todos os possíveis vetores r são listados numa ordem que permita identificar qual o vetor x mais provável. Essa ordenação é determinada pelo cálculo da síndrome e pela capacidade de correção do código em particular.

4.2 Códigos de BCH

Os códigos BCH (*Bose, Chaundhuri e Hocquenghem*) constituem uma importante e poderosa classe de códigos

corretores de erro *cíclicos*. Códigos cíclicos podem ser entendidos como uma subclasse de códigos de blocos lineares que possuem a seguinte propriedade: Ao aplicar uma permutação cíclica em uma palavra código, i.e., deslocar os componentes do vetor palavra código em uma posição, a nova palavra continua sendo uma palavra do código.

Para qualquer inteiro positivo m ($m \geq 3$) e t ($t < 2^{m-1} - 1$), então existe um código binário BCH com os seguintes parâmetros:

$$\begin{aligned}n &= 2^m - 1 \\n - k &\leq mt \\d_{min} &\geq 2t + 1\end{aligned}$$

Este código será capaz de corrigir até t erros.

A decodificação de um código BCH tem início de forma idêntica à decodificação de um código de Hamming, ou seja, pelo cálculo da síndrome s . No entanto, no caso de códigos BCH, não se obtém uma solução direta para a síndrome e algoritmos de decodificação são utilizados para resolver as equações obtidas.

Outra diferença está na formulação algébrica ao invés da comumente utilizada matricial.

O interesse é em encontrar a síndrome correspondente ao padrão de erro mais provável, que no caso dos códigos BCH é equivalente ao problema de encontrar as raízes de um polinômio $\sigma(X)$, denominado polinômio localizador de erro, numa tradução livre do inglês *error-location polynomial*.

O procedimento mencionado anteriormente pode ser sumariamente descrito como:

- i. Calcular a síndrome a partir do polinômio $r(X)$ correspondente a mensagem ruidosa recebida.
- ii. Determinar o polinômio localizador de erro $\sigma(X)$ a partir das equações obtidas no cálculo da síndrome.
- iii. Determinar a localização dos erros através do cálculo das raízes de $\sigma(X)$.

O passo ii), de determinar $\sigma(X)$, é o mais complexo e exige o uso de técnicas especiais.

Uma das técnicas mais conhecidas é o algoritmo iterativo de Berlekamp-Massey [5].

5 Resultados

Este trabalho considerou canais com ruído AWGN e desvanecimento Rayleigh, utilizando codificação de Hamming e BCH, verificando-se um melhor desempenho desse último frente ao de Hamming. A modulação utilizada foi BPSK antipodal e para as simulações dos sistemas o método de Monte Carlo.

Na Fig.3 observamos o resultado da simulação do sistema para o canal AWGN com os dois tipos de codificação mencionados anteriormente.

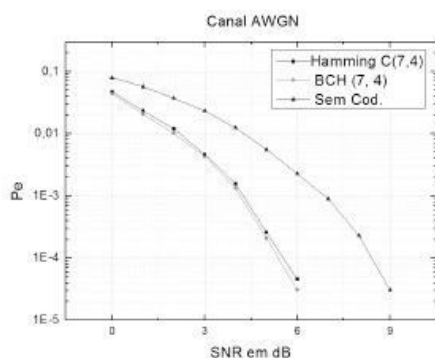


Fig. 3 – Curvas de desempenho para o canal AWGN.

Pela análise da Fig.3 podemos observar a melhora no desempenho dos canais codificados em relação à transmissão não codificada. Entre os dois códigos utilizados observa-se uma sensível superioridade no desempenho do código BCH. Isso se deve ao código escolhido BCH(7,4) que possui a mesma capacidade de correção do código de Hamming escolhido, C1(7,4).

Na Fig. 4 podemos observar o comportamento de um canal AWGN com desvanecimento Rayleigh sem codificação e com codificação BCH(7,4).

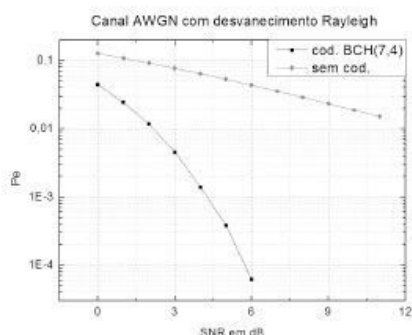


Fig. 4 – Curva de desempenho canal AWGN com desvanecimento Rayleigh

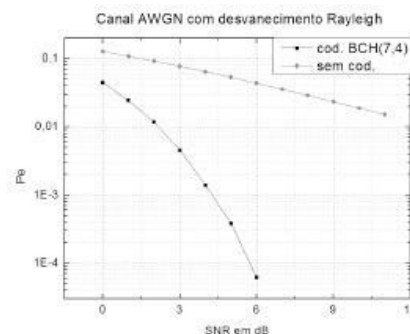


Fig. 4 – Curva de desempenho canal AWGN com desvanecimento Rayleigh

Pode-se observar que com a introdução do desvanecimento Rayleigh a curva de desempenho do canal não codificado exige valores maiores de energia (valores grandes de SNR) para permitir probabilidades de erro baixas.

6 Expectativas

Fundamentada a base teórica, a aplicação de outros esquemas de codificação a RSSFs seguirá com o estudo dos códigos turbo produto e seus algoritmos de decodificação iterativa.

Referências

- [1] Zaragoza, R.H.M. *The Art of Error-Correcting Coding*. John Wiley, 2002.
- [2] Akyildiz, I. F., SU, W., Sankarasubramanian, Y. and Cayirci, E. "Wireless Sensor Networks: A Survey," *Computer Networks (Elsevier) Journal*, vol. 38, n. 4, pp. 393- 422, Mar 2002.
- [3] Rossi, P. S.; Petropulu, A. P.; Palmieri, F.; Iannello, G. "Distributed Linear Block Coding for Cooperative Wireless Communications". *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 14, n. 10, pp. 673 - 676, Out 2007.
- [4] Meier, J., Thompson, J. S., "Cooperative Diversity in Wireless Networks". IEE International Conference on 3G and Beyond, Jun 2007.
- [5] Lin, S., Costello, D.J. Jr; "Error Control Coding – 2nd Ed." Pearson – Prentice Hall, 2004.

Algoritmo de Posicionamento de Regeneradores e Comprimentos de onda em Redes Ópticas

Rodrigo, F. S. C. Oliveira

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
rodrigofsc@hotmail.com

Carmelo J. A. Bastos-Filho

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
carmelofilho@ecom.poli.br

Resumo

Neste artigo nós propomos um algoritmo de otimização multiobjetiva evolucionária para posicionamento de regeneradores e comprimento de onda em redes ópticas. Visando realizar o posicionamento de regeneradores nos nós e o posicionamento de comprimentos de onda nos enlaces considerando o desempenho (probabilidade de bloqueio) e o custo da rede. O algoritmo multi-objetivo evolucionário utilizado no processo de otimização é baseado no SPEAII que está descrito em [11].

Abstract

In this paper we propose the use a multiobjective evolutionary optimization algorithm for regenerator and wavelength placements in optical network. The aim is to perform regenerator placement in the nodes and wavelength placement in the links considering network performance (blocking probability) and capital cost. The multi-objective evolutionary algorithm used in the optimization process is the SPEA2 that is described in [11].

1 Introdução

Redes ópticas translúcidas são alternativas de desempenho e custo eficazes para redes transparentes e opacas[3,4]. Nessas redes alguns nós são transparentes e outros têm capacidades de regeneração. Duas estratégias são possíveis para projetar redes translúcidas: Ilhas de Transparência [5] e *Sparse Regeneration* [3,5]. Nesse artigo foi utilizada a abordagem *Sparse Regeneration* para projetar redes ópticas translúcidas. Duas questões naturalmente nascem nesse cenário: quais nós posicionar regeneradores e como usar a esses regeneradores de acordo com a demanda em redes com tráfego dinâmico. O algoritmo responsável pela escolha do número de regenerados e em que nós eles devem ser posicionados é conhecido como algoritmo de posicionamento de Regeneradores (RP). O algoritmo que decide em que nó de uma dada rota o sinal óptico deve ser regenerado é conhecido como algoritmo de alocação de regenerador (RA)[3].

Algoritmos Multiobjetivos Evolucionários vêm sendo utilizados para resolver problemas que ocorrem em redes ópticas como descrito em [6,7,8]. Em sua grande maioria eles apresentam excelentes resultados.

Nesse artigo, é apresentado um algoritmo para posicionamento de regeneradores e comprimentos de onda. Esse artigo propõe o uso de um MOEA, nesse caso SPEAII, para resolver o problema de posicionamento de regeneradores e comprimentos de onda, aqui chamado de Algoritmo Multiobjetivo evolucionário posicionamento de regeneradores e comprimentos de onda (MORWP). O algoritmo considera três objetivos: a probabilidade de bloqueio como variável de desempenho, o custo da rede e o número de nós translúcidos como variáveis econômicas. A justificativa do número de nós translúcido ser considerado uma variável econômica será demonstrado mais a frente.

O sinal óptico será regenerado usando elementos da rede que são capazes de executar a regeneração 3R (*re-amplifying, re-shaping and re-timing*) O/E/O. O algoritmo de posicionamento de regeneradores e comprimentos de onda (RWP) avalia a probabilidade de bloqueio usando um modelo de camada física que considera as seguintes penalidades: ruído ASE, efeito de saturação de ganho do amplificador, saturação de ruído ASE em EDFAs, *crosstalk* em *switches* ópticos, dispersão cromática residual, mistura de quatro ondas (FWM) e efeitos PMD em fibras de transmissão. Esse modelo de camada física está descrito em [10]. Esse é o primeiro artigo do nosso conhecimento que propõe uma solução para o problema (RWP).

2 Descrição e Representação do Problema

2.1 Problema de Posicionamento de Regeneradores e Comprimentos de onda

Nessa seção será descrita a formulação adotada para o RWP e como a rede e seus recursos são representados. Portanto, esse artigo se concentra no seguinte problema: dada uma determinada topologia de rede com os algoritmos de roteamento e atribuição de comprimento de onda estabelecidos, é preciso determinar quais nós da rede devem ter a capacidade de regeneração e quantos comprimentos de onda tem em cada enlace tentando minimizar o custo e maximizar o desempenho da rede, simultaneamente. Para avaliar o desempenho da rede usamos simulações para obter a probabilidade de bloqueio. Propomos dois modelos de custo para considerar o custo da rede como uma variável econômica nesse problema. O primeiro é o custo da rede e o segundo é relacionado com o custo do enlace. Para avaliar o custo total da rede para cada solução adicionasse esses dois modelos de custo.

2.2 Representação do Posicionamento de Regeneradores e Comprimentos de Onda

O primeiro passo para construir um algoritmo de posicionamento de regeneradores e comprimentos de onda é determinar uma representação apropriada para localização dos nós translúcidos e o número de regeneradores posicionados nesses nós. O segundo passo é como representar os enlaces e o número de comprimentos de onda disponível em cada enlace. Isso é possível através da representação dessas características com um vetor de inteiros. Então definimos o vetor $V = \{v_i\}, i \in 1, 2, 3, \dots, N, N + 1, \dots, L$ onde N é o número de nós na rede e $L - N$ é o número de enlaces na rede, logo L é o número de nós mais o número de enlaces. Portanto, para cada inteiro $i \leq N$, v_i é o número de regeneradores implantados no nó i e para cada inteiro $N + 1 \leq i \leq L$, v_i é o número de comprimentos de onda no enlace i .

2.3 Modelo de Custo

Para execução do MORWP um modelo de custo foi proposto. Esse modelo é composto de duas variáveis econômicas: O custo do nó e o custo do enlace. No primeiro, é considerado o número de regeneradores implantados nos nós translúcidos e características dos OXC. No segundo, o número de comprimentos de onda em cada enlace. O modelo de custo utilizado está descrito abaixo:

$$C_{total} = C_{Nó} + C_{Enlace}$$

$$C_{Nó} = 1.4R + C_{OXC}$$

$$C_{OXC} = [(0.0522W + 6.24)G + 2.5]$$

$$C_{Enlace} = 1.0W$$

Onde R é o número de pares de regeneradores posicionados no nó. W é o número de pares de comprimentos de ondas no enlace. Por fim, G é o grau do nó.

3 Algoritmo Multiobjetivo evolucionário de Posicionamento de Regeneradores e Comprimentos de Onda

Nessa seção será descrito o algoritmo de otimização multiobjetiva evolucionária usada na distribuição de regeneradores e comprimentos de onda tentando minimizar o custo e a probabilidade de bloqueio da rede simultaneamente. A probabilidade de bloqueio é uma medida relativa de quantas chamadas são bloqueadas pela rede devido à falta de recursos físicos ou porque o *lightpath* não atingiu o QoS exigido. No entanto, é um importante indicador de qualidade da rede. O custo da rede é importante no processo de RWP, pois podemos chegar a uma rede de alta qualidade com um pequeno custo.

Algoritmos evolucionários vêm se mostrando eficientes soluções para problemas multiobjetivos. Para execução da otimização multiobjetiva, foi usado o algoritmo multiobjetivo evolucionário (MOEA) chamado SPEAII. O SPEAII foi proposto por Zitzler ET AL [11] e foi baseado em algoritmos genéticos (GA)[12]. O pseudocódigo do SPEAII pode ser consultado em [11]. A principal diferença entre o SPEAII e um GA qualquer é principalmente a forma como eles praticam o elitismo através do operador de seleção natural, a forma como ocorre a atribuição do *fitness* e o uso de um arquivo externo. Todas essas diferenças são explicadas em [13].

Em algoritmos genéticos, cada indivíduo representa uma possível solução para o problema. O indivíduo é representado pelo vetor V definido na seção anterior. Os indivíduos são formados por genes que são as variáveis de decisão do problema e são representados por cada valor v_i . Os genes nesse problema foram tratados de maneira diferente. Para cada $i \leq n$ valor, representando o número de regeneradores nos nós, o valor máximo de v_i é 200 e o

valor mínimo é 0, no caso em que o nó não é translúcido. Mas para cada $N + 1 \leq i \leq L$, representando os comprimentos de ondas disponíveis nos enlaces, o máximo valor é 40 e o mínimo é 2. A granularidade do crescimento ou decrescimento do valor de cada gene é decrescente ao longo das gerações. Começam em 8 passando por 4 após 50 gerações e chegando a 2 após outras 50 gerações. Ao chegar ao valor de 2 a granularidade permanece constante durante o resto das iterações.

Em um GA genérico, a qualidade do indivíduo é determinado pelo *fitness*. Nos MOEA a qualidade do indivíduo está relacionado ao *fitness* que é obtido através da avaliação de todos os objetivos e o critério de dominância entre os indivíduos da população. No RWP avaliamos três objetivos. O primeiro é o custo total da rede representada pelo indivíduo. O segundo é o desempenho da rede através da probabilidade de bloqueio, usando os resultados de simulações no simulador que implementa o modelo de camada física. Por fim, o terceiro é o número de nós translúcidos que consideramos uma variável econômica. Os número de nós translúcidos é considerado nesse artigo como uma variável econômica, pois ela influi diretamente no custo de implantação e no custo de manutenção da rede. Quanto menor o número de nós translúcidos menor o custo de implantação pois não será necessário algumas estruturas para a implantação dos regeneradores. Por outro lado, quanto menor o número de nós translúcidos menor será o custo de manutenção, pois serão menos nós para fazer a manutenção dos regeneradores.

Durante cada iteração, operadores genéticos são usados pelo GA: *Crossover*, Mutação e Seleção. A seleção é executada em duas fases. A primeira é a seleção do ambiente que seleciona os melhores indivíduos do arquivo externo em termos de *fitness*, mas preservando a diversidade entre as soluções. Então o algoritmo executa o torneio binário nesses indivíduos selecionados para o arquivo externo obtendo pares de indivíduos escolhidos aleatoriamente. Esses pares de indivíduos obtidos na seleção sofrem *Crossover* e mutação para formar a próxima população. O pseudocódigo de cada rotina está descrita em [11]. O operador de *Crossover* utilizado nesse algoritmo foi o *Crossover* de multiponto com probabilidade de *Crossover* P_c . O operador de Mutação utilizado foi a mutação per gene uniforme onde o gene escolhido para sofrer mutação é substituído por um valor aleatório entre seus limites. A mutação tem uma probabilidade de mutação P_m . O algoritmo proposto nesse artigo está descrito no algoritmo 1.

Algoritmo 1: Pseudocódigo do algoritmo evolucionário implementado (MORWP)

Inicializa a população P aleatoriamente e cria um arquivo em branco A ;
Enquanto o número máximo de geração T não for alcançado, **faça**
 Avalia o *fitness* de cada indivíduo pertencente a P ou a A ;
 Faz a seleção do ambiente resultando no preenchimento do arquivo A ;
 Apaga todos os indivíduos em P ;
 Enquanto P estiver vazio, **faça**
 Executa o torneio binário com reposicionamento para selecionar $S1$ e $S2$;
 Realiza o *Crossover* entre $S1$ e $S2$;
 Realiza Mutação em $S1$ e $S2$;
 Copia $S1$ e $S2$ para a população P ;
 Fim Enquanto
Fim Enquanto
Retorna População A ;

O algoritmo MORWP desenvolvido nesse artigo recebe três parâmetros como entrada: O número de indivíduos no arquivo externo A , o número de indivíduos na população P e o número de gerações T que ele tem que evoluir. Por fim, O algoritmo retorna a população no arquivo externo A .

4 Resultados de Simulações

Os resultados obtidos mostrados nesse artigo foram tirados a partir de simulações. A Topologia de rede Pacific Bell Modificada mostrada na figura 1 foi utilizada nas simulações e na tabela 1 estão os parâmetros de simulação

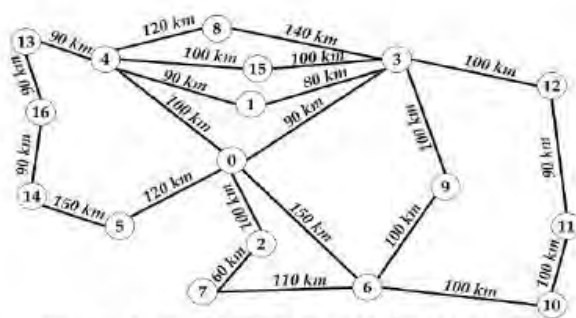


Figura 1 - Topologia Pacific Bell Modificada.

Tabela 1 - Parâmetros de Simulação

Parâmetro	Valor	Definição
P_{sat}	20 dBm	Potência de Saturação na saída do amplificador.
$OSNR_m$	40 dB	Relação sinal-ruído óptica na entrada.
$OSNR_{QOT}$	20 dB	Relação sinal-ruído óptica adotada como critério de QoS.
B	40 Gbps	Taxa de transmissão.
B_o	100 GHz	Largura de banda a 3 dB do filtro óptico.
Δf	100 GHz	Espaçamento de frequência entre canais.
λ_i	1528.77 nm	Menor comprimento de onda pertencente a grade.
λ_0	1557 nm	Comprimento de onda cujo dispersão é igual a 0.
λ_{ORD}	1544.53 nm	Comprimento de onda cujo dispersão residual é igual a 0.
α	0.2 dB/Km	Coefficiente de atenuação na fibra.
L_{mux}	3 dB	Perda do multiplexador.
L_{demux}	3 dB	Perda do demultiplexador.
L_{switch}	3 dB	Perda do switch.
F_0	6 dB	Fator de ruído do amplificador para baixos valores de potências.
ϵ	-40 dB	Fator de isolamento do switch.
D_{PMD}	0.05 ps/km ^{1/2}	Coefficiente de PMD.
S_{DCF}	-1.87 ps/km.nm ²	Coefficiente da fibra compensadora de dispersão.
S_{Tz}	0.06 ps/km.nm ²	Coefficiente de dispersão na fibra de transmissão.
<i>Carga da Rede</i>	120 Erl	Carga da rede.

Para execução do MORWP foram selecionados três cenários de destaques. Eles possuem muitos dos parâmetros iguais. Possuem tamanho do arquivo e população igual a 75. Usam o operador de *crossover* de multiponto com taxa de 90%, limitam as variáveis de 0 à 200 para os regeneradores e de 0 à 40 para os comprimentos de onda. Suas granularidades são variáveis e começam em 8 e a cada 50 gerações decaem de 50% terminando em 2. Suas diferenças estão explicitadas na tabela 2.

Tabela 2 - Descrição dos cenários de simulação utilizados.

Cenário	Crossover	Mutação	Métodos adaptativos
B	0,9 MultiPonto	0,1 Uniforme	Probabilidade de Bloqueio
C	0,9 MultiPonto	0,1 Discreta	Mais Usado
D	0,9 MultiPonto	0,1 Uniforme	Mais Usado

Para melhor argumentação não será mostrado os paretos em três dimensões já que são de difícil percepção. Os gráficos das figuras 2, 3, 4 são gráficos que mostram o custo e a probabilidade de bloqueio de cada solução dos cenários escolhidos e detalhados na tabela 2. Essas soluções também foram escolhidas para análise mais detalhada e são as soluções que serão comparadas com as soluções de algoritmos de RP presentes na literatura.

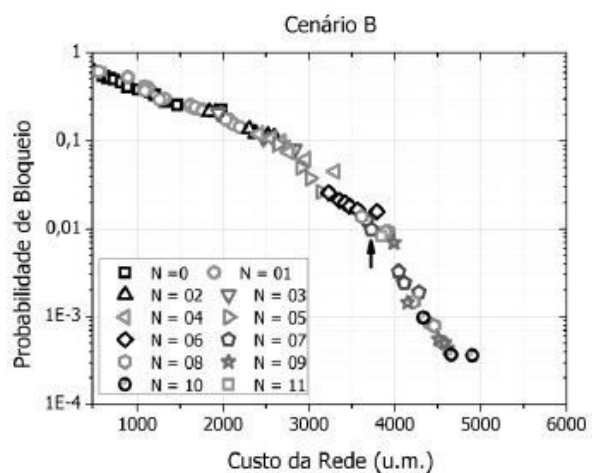


Figura 2 - Pareto do cenário B.

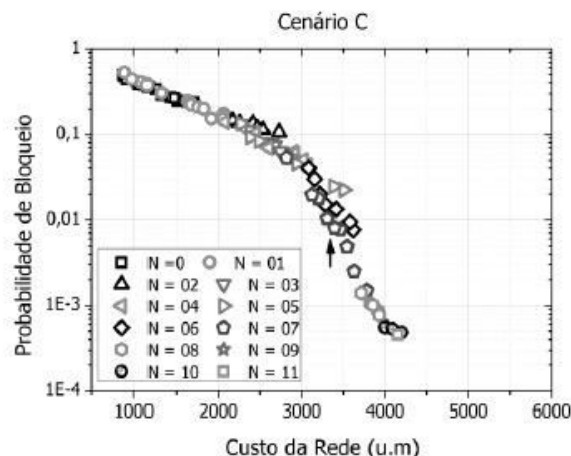


Figura 3 - Pareto do cenário C.

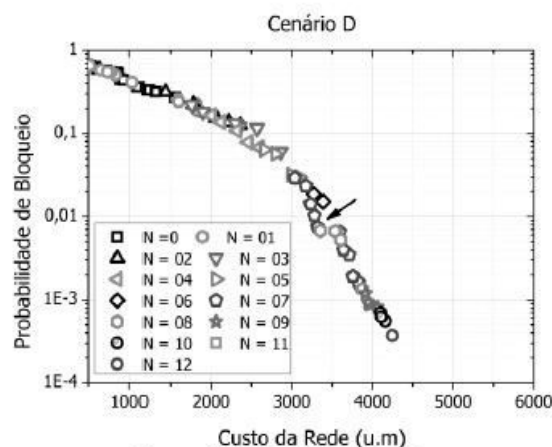


Figura 4 - Pareto do cenário D.

Nos gráficos dos cenários B e D foi atingido a probabilidade de bloqueio de 1% com no mínimo 7 nós translúcido e no cenário C foi atingido esse valor com 6 nós translúcidos. Mas como as soluções com 7 nós translúcidos são maioria nesse valor de probabilidade de bloqueio, elas foram utilizadas para análise mais detalhada. As redes da figura 5, 6 e 7 são configurações obtidas pelo MORWP simulados no cenário B, C e D.

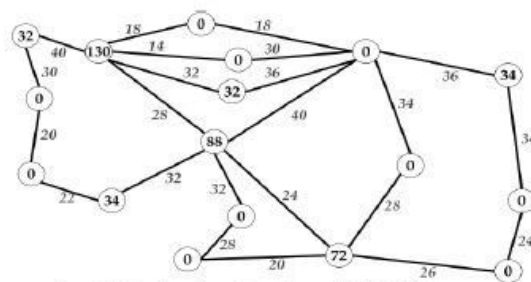


Figura 5 - Solução do algoritmo MORWP para o cenário B.

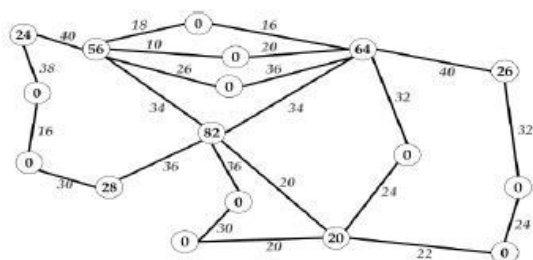


Figura 6 - Solução do algoritmo MORWP para o cenário C.

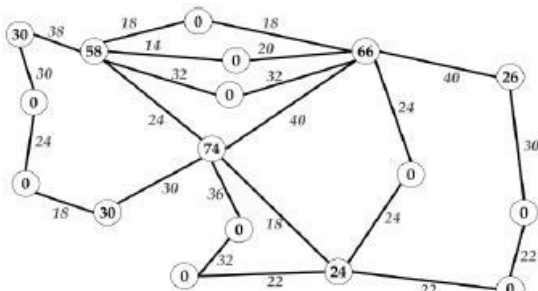


Figura 7 - Solução do algoritmo MORWP para o cenário D.

Durante a interpretação dos resultados foi observado uma disparidade entre comprimentos de onda em enlaces que compartilham o mesmo nó em uma de suas extremidades. Primeiramente, foi inferido que isto se configurava como um erro do algoritmo, mas a partir de uma análise mais detalhada notou-se que o algoritmo privilegia os enlaces que possuem maior recorrência nas rotas durante as simulações. Foram feitos estudos de correlação entre a percentual de utilização do enlace em todas as rotas das simulações e a percentual de comprimento onda colocada nesse link em relação ao total colocado na rede. Em todos os experimentos a correlação atingiu uma taxa maior que 82%, corroborando a qualidade do algoritmo.

As características das soluções escolhidas estão mostradas na tabela 5 e a partir desses valores foram montadas as redes, onde foram executados os algoritmos de RP, NDF e SQP. Foram montados 4 redes, duas com 28 comprimentos de ondas em todos os enlaces e 7 nós translúcidos com 44 regeneradores onde em uma executamos o NDF e na outra o SQP. As duas restantes, foram montadas com 30 comprimentos de ondas em todos os enlaces e 7 nós translúcidos com 62 regeneradores cada, onde foi executado o NDF e o SQP. Com essas quatro redes montadas mais as redes obtidas pelo MORWP foram realizadas simulações com variação de carga de 80 à 160 erlangs. O resultado está na figura 8. Nessas simulações o MORWP se mostrou mais eficaz que o NDF e o SQP para todos os pontos de carga simulados.

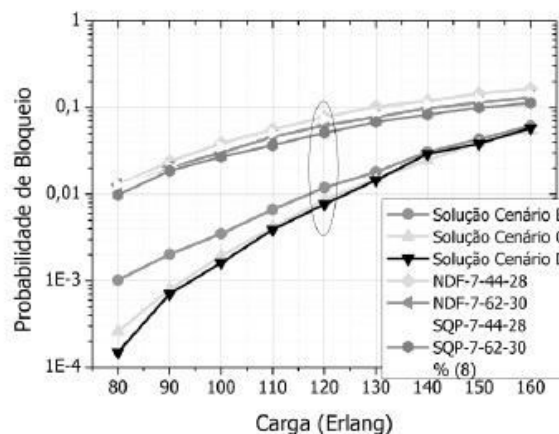


Figura 8 - Probabilidade de bloqueio em função da carga para as soluções exibidas anteriormente.

5 Conclusões

Nesse artigo foi proposto o uso de um algoritmo de otimização multiobjetiva evolucionária para solucionar o problema de posicionamento de regeneradores e comprimentos de onda, que chamamos de MORWP. O MORWP foi comparado com dois algoritmos de posicionamento de regeneradores presentes na literatura, NDF e SQP. Para um mesmo número de recursos na rede, o MORWP apresentou soluções com probabilidade de bloqueio menor que as soluções dos algoritmos NDF e SQP.

Nas simulações de carga o MORWP chega a alcançar uma probabilidade de bloqueio uma ordem de grandeza menor que o NDF e SQP no ponto de carga onde ocorreu seu treinamento. Os resultados mostram também que a estratégia de posicionar quantidades variáveis de regeneradores e comprimentos de ondas é melhor que posicionar blocos de quantidades fixas para ambos, como é feito no SQP e NDF.

A única ressalva a ser feita nesse comparativo é que o algoritmo proposto necessita de muito mais tempo de execução para resolver o problema, enquanto os outros dois são bem menos custosos em termos de desempenho. Mas isso não é nenhum empecilho já que esse algoritmo são executados durante a fase de planejamento da rede e não durante a operação da mesma.

Referências

- [1] R. Ramaswami e K. N. Sivarajan, Optical Networks: A Practical Perspective, 2ª ed. San Diego: Morgan Kaufmann, 2002.

- [2] B. Mukherjee, "WDM optical communication networks: Progress and challenges," *Journal of Selected Areas in Communications*, vol. 18, n. 10, p. 1810-1824, 2000.
- [3] X. Yang e B. Ramamurthy, "Sparse regeneration in translucent wavelength-routed optical networks: Architecture, network design and wavelength routing," *Photonic Network Communications*, vol. 10, n. 1, p. 39-53, 2005.
- [4] B. Ramamurthy et al, "Transparent vs. opaque vs. translucent wavelength-routed optical networks," *OFC/IOOC 1999*, vol. 1, p. 59-61, 1999.
- [5] G. Shen e R. S. Tucker, "Translucent optical networks: the way forward," *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, n. 2, p. 48-54, 2007.
- [6] J.J. Grefenstette, "Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.SMC-16, No. 1, Jan./Feb. 1986, pp. 122-128.
- [7] D. A. R. Chaves, C. F. C. L. C. Ayres, R. V. B. Carvalho, H. A. Pereira, C. J. A. Bastos-Filho e J. F. Martins-Filho. "Sparse Regeneration Placement for Translucent Optical Networks Using Multiobjective Evolutionary Algorithms Considering Quality of Service and Capital Cost", *IMOC 2009*, vol. 1. p. 417-422. 2009.
- [8] D. A. R. Chaves, C. F. C. L. C. Ayres, R. V. B. Carvalho, H. A. Pereira, C. J. A. Bastos-Filho e J. F. Martins-Filho. "Multiobjective Sparse Regeneration Placement Algorithm for Optical Networks Considering Network Performance and Capital Cost," *ICTON 2010*. vol. 1. p. 1-4.
- [9] D. A. R. Chaves, J. F. Martins-Filho, e C. J. A. Bastos-Filho, "Ferramenta Computacional para Simulação de Redes Ópticas Transparentes," in *MOMAG 2008*, vol. 1, 2008, p. 908-913.
- [10] H. A. Pereira, D. A. R. Chaves, C. J. A. Bastos-Filho, and J. F. Martins-Filho, "OSNR model to consider physical layer impairments in transparent optical networks," *Photonic Network Communications*, vol. 18, n. 2, pp. 137-149, 2009.
- [11] E. Zitzler, M. Laumanns, and L. Thiele. *SPEA2: Improving the strength pareto evolutionary algorithm for multiobjective optimization*. In K. Gianakoglou, D.
- [12] K. F. Man, K. S. Tang, and S. Kwong, *Genetic Algorithms: Concepts and Applications*, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 43, p. 519, 1996.
- [13] E. Zitzler. *Evolutionary Algorithms for Multi-objective Optimization: Methods and Applications*. PhD thesis, ETH urich, Switzerland, 1999.

Sistema para melhoria na temporização de semáforos de trânsito com temporização para pedestres

Silva, W. A. S.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
wass@ecom.poli.br

Oliveira, S. C.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo *O bom funcionamento dos semáforos de trânsito são atualmente um dos fatores mais relevantes para a boa fluidez do trânsito em todas as grandes cidades brasileiras. Uma situação corriqueira é o acionamento do botão por um pedestre e o mesmo conseguir atravessar antes que o semáforo feche. Este artigo propõe a utilização de sensores de presença para detectar se há necessidade do semáforo fechar.*

Abstract *Well-functioning of traffic lights are currently one of the most relevant factors for a good traffic flow at Brazil's largest cities. An usual situation occurs when pedestrians trigger the light button and cross before the light stops the cars. This article proposes the use of sensors to let the lights decides if there is need to stop the cars.*

1 Introdução

Um dos maiores problemas nas grandes cidades brasileiras é a falta de fluidez do trânsito. Por vezes há semáforos exclusivamente para pedestres para que os mesmos possam atravessar com segurança. Porém uma situação é bastante corriqueira: os pedestres acionam o botão, porém antes do semáforo parar o trânsito, aqueles conseguem cruzar a via. Nesta situação, o semáforo terá interrompido o fluxo de veículos sem necessidade, pois já não há mais pedestres para atravessarem. Um sistema que detecte a presença dos pedestres poderia evitar a parada desnecessária do trânsito nessa e em outras situações.

O objetivo deste artigo foi propor um sistema de controle para semáforos com temporização para pedestres que detecte a presença dos seres humanos e apenas pare o trânsito caso seja realmente necessário. Para tal, foi utilizado um microcontrolador da família PIC e um sensor de presença.

2 PIC18F4550

PICs[1] (*Programmable Interface Controller*) são microcontroladores desenvolvidos pela Microchip, empresa precursora no uso de tecnologia RISC (*Reduced Instruction Set Computer*)[2] neste tipo de dispositivos. Este PIC possui arquitetura Harvard[3] RISC, ou seja, possui barramentos distintos para dados e sinais de controle. A escolha de um microcontrolador desta família se deu pela facilidade de programação, dado que é possível programar na linguagem C[3], bem como pelos recursos disponibilizados pelos mesmos.

O PIC18F4550[4] pode funcionar com clock de até 48MHz, possui dois pinos que podem reconhecer interrupções externas, timers, portas seriais e uma porta USB(Universal Serial Bus)[5].

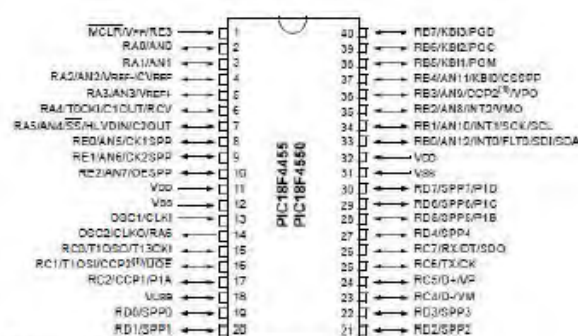


Figura 1. PIC 18F4550

3 Sensor de Presença

Foram estudadas possibilidades de sensores a serem utilizados para o desenvolvimento do sistema. Apenas um modelo de sensor (SPFØEX da Exatron) foi encontrado para nossa aplicação, que deve ter um sensor de presença para ser utilizado em área externa(exposto à luz do sol). O sensor utilizado possui um LDR (*Light Dependent Resistor*)[6], que é um resistor cuja resistência varia conforme a intensidade de luz que o atinge.

4 Delineamento experimental e tratamentos utilizados

Inicialmente foi feito o estudo sobre como programar o PIC e, em seguida, implementado o algoritmo a ser embarcado naquele, contemplando um semáforo de cruzamento de duas ruas (ou avenidas) e um botão de pedestre. Após feito o algoritmo, passou-se para a fase de simulação do mesmo e, para isso, foi feito o esquema elétrico do semáforo que pode ser observado na figura 1.

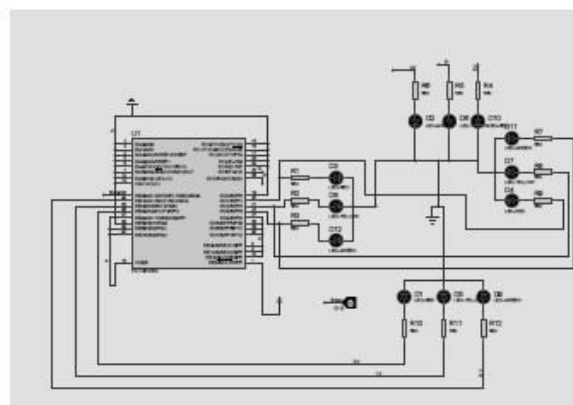


Figura 2. Esquema elétrico do circuito entre o pic e o semáforo.

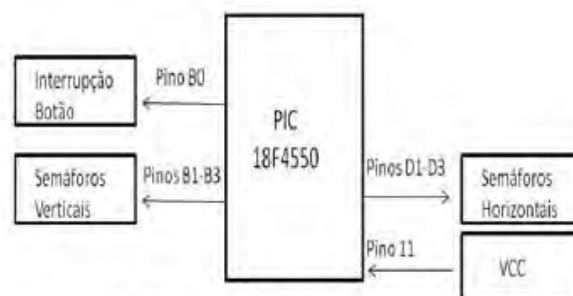


Figura 3. Esquema de pinagem do circuito do semáforo.

Posteriormente foi desenvolvido o desenho da placa de circuito impresso a ser confeccionada. O desenho da placa pode ser observado na figura 3.

Também foi implementado um algoritmo para testes e validação dos dados coletados, que trata da comunicação entre o PIC e um computador. Os dados são transmitidos via USB e, para este circuito de testes, a alimentação do PIC é dada pela própria porta USB, pois, como pode ser observado na figura 4, no seu padrão esta porta possui tanto VCC ($V_{ref} + 5V$) quanto terra (V_{ref}). Ainda para testes, foi implementado um programa que captura imagens através de uma webcam para validar dados captados pelo sensor (presença de possíveis falso-positivos).

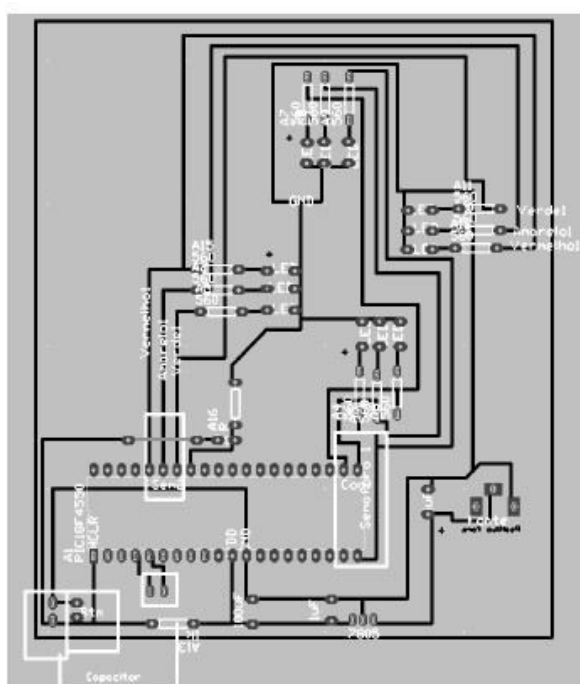


Figura 4. Desenho da placa do semáforo.

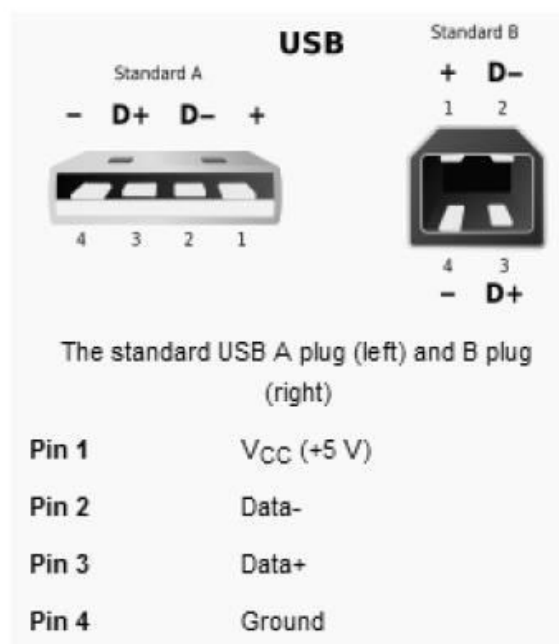


Figura 5. Padrão USB.

5 Variáveis Analisadas

Ao detectar a presença de uma pessoa, este sensor acende um LED (*Light-emitting diode*)[7] que facilitou no desenvolvimento do projeto, pois a tensão de alimentação do LED, juntamente com o resistor, que encontra-se antes dele no circuito do sensor e tem como função limitar a corrente que atravessa o LED, é de 4,89V (próximo de 5V), que é o nível lógico alto do PIC. Sendo assim, quando o sensor detecta alguém, o LED acende e graças a isto foi possível fazer uma ligação em paralelo e usar esta tensão de 4,89V para servir como gatilho para a interrupção externa no PIC. O circuito de testes foi montado em uma protoboard e o esquema de pinagem do PIC podem ser vistos nas figuras 5 e 6 respectivamente.

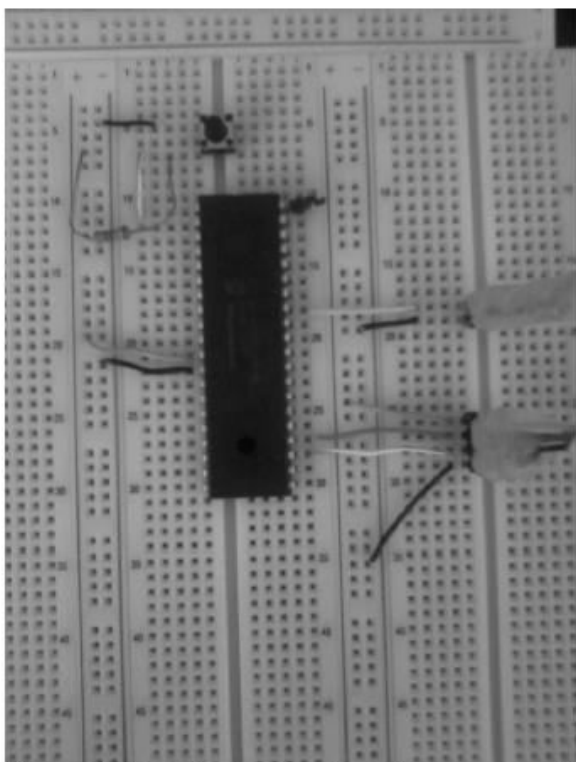


Figura 6. Foto da protoboard usada para testes do sensor.

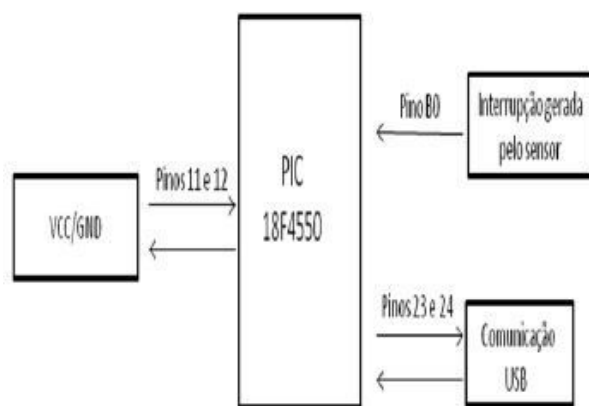


Figura 7. Pinagem do circuito de testes do sensor

sensor com o PIC foram atingidos, porém a dificuldade na comunicação USB entre o PIC e um computador na fase de testes para aquisição de dados impedem uma conclusão.

Referências

- [1] en.wikipedia.org/wiki/PIC_microcontroller, visitado pela última vez em 12/09/2011.
- [2] Stallings, William, *Arquitetura e Organização de Computadores*, Editora Prentice Hall, 2002.
- [3] en.wikipedia.org/wiki/Harvard_architecture, visitado pela última vez em 12/09/2011.
- [4] Pereira, Fábio, *Microcontroladores PIC – Programação em C*, Editora Érica, 2003, 1ª edição.
- [5] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632b.pdf>, visitado pela última vez em 13/09/2011.
- [6] en.wikipedia.org/wiki/USB, visitado pela última vez em 12/09/2011.
- [7] pt.wikipedia.org/wiki/LDR, visitado pela última vez em 12/09/2011.
- [8] <http://en.wikipedia.org/wiki/Led>, visitado pela última vez em 12/09/2011.

6 Tipos de análise de dados

Não houveram dados analisados.

7 Conclusão

Diante do que foi feito não foi possível comprovar a viabilidade do uso do sensor de presença para melhoramento do sistema de tráfego em um grande centro urbano. Pontos positivos como a possibilidade de acoplamento do

Caracterização do EDFA através do Ganho por Reflectometria Óptica

Cipriano, E. A.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
eliel_pac@hotmail.com

Nascimento, J. F.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
jehan@poli.br

Resumo *Neste trabalho, apresentamos o resultado da caracterização do EDFA através do ganho utilizando técnica de reflectometria óptica. O resultado disto vai permite a determinação do ganho num sistema sensor amplificado à base de fibras ópticas, que também usa técnica de reflectometria para monitorar níveis de pressão, temperatura, corrosão e outros.*

Abs-tract *In this paper, we present the result of EDFA characterization through gain using optical reflectometry technique. This result will allow the determination of gain in an amplified sensor system of optical fiber that also uses reflectometry technique to monitor the levels of pressure, temperature, corrosion and others.*

1 Introdução

Os amplificadores ópticos de fibra dopada com Érbio (EDFA) estão aos poucos substituindo os tradicionais repetidores eletrônicos, pois possuem elevada largura de banda, baixo custo, são compactos, e consomem pouca energia elétrica. Já que não necessita do uso de componentes eletrônicos para restaurar o sinal óptico propagado numa fibra convencional, o EDFA permite amplificar este sinal através da interação da luz proveniente de um laser de bombeio com os íons de Érbio. Tudo isto acontece ao longo de toda extensão do EDFA [1].

A funcionalidade do EDFA é aplicada basicamente em sistemas ópticos à base de fibras ópticas, tais como: Redes com comunicações ópticas e sensores ópticos. Neste trabalho, destacaremos a caracterização do EDFA através do ganho, pois este resultado é importante na implementação de regeneradores ópticos em tais sistemas ópticos citados. O fato de usarmos técnicas de reflectometria consiste na construção de sensores ópticos amplificados [2].

2 Geração da ESA

Os EDFAs são muito utilizados atualmente, pois eles podem amplificar comprimentos de onda nas bandas C e L (1530 nm a 1620 nm) sem causar interferência entre eles e também para estes comprimentos de onda, a atenuação numa fibra óptica convencional é baixa. Por este motivo, as bandas C e L são utilizadas pelas empresas de comunicações. O ganho no EDFA depende de alguns fatores tais como: concentração dos íons de Érbio na fibra dopada, comprimento da fibra dopada, potência de bombeio injetada, efeito térmicos entre outros [3]. A interação entre laser de bombeio com o EDFA vai gerar a Emissão Espontânea Amplificada (ESA), como mostra a figura 1.

Na figura 1, temos o íon de Érbio quando está sob a influência de um campo eletromagnético sofre transições entre seus auto-estados de energia, e emite luz. Estas transições se tratam de saltos entre níveis de energia de um auto-estado (N_1) para outro auto-estado com mais alta energia (N_2) e resulta na emissão de luz no decaimento do estado excitado para o estado fundamental [1].

A explicação do processo de amplificação pode ser simplificada se analisarmos a situação em que uma onda eletromagnética atravessa um sistema em que pode assumir dois níveis de energia, onde o aumento da largura da linha é homogêneo e o bombeamento continua uniforme. Este processo mostrado na figura 1, onde a onda incidente ao se propagar neste meio é amplificada devido à maior quantidade de elétrons estarem no estado com maior energia ($N_2 > N_1$).

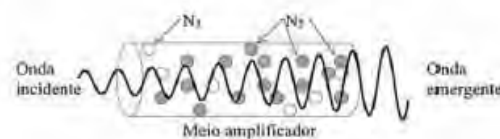


Figura 1: Análise da amplificação do sinal óptico.

3 Aparato Experimental

A caracterização do ganho no EDFA usando o Reflectômetro Óptico no Domínio do Tempo (OTDR) é dada pelo arranjo experimental mostrado pela figura 2. A composição desse arranjo se trata de um OTDR, filtro de interferência com largura de banda de 1.0 nm, acoplador óptico, laser de bombeio, WDM e EDFA.

Neste arranjo o pulso gerado pelo OTDR passa por uma extensão de 2 km de fibra até atingir o acoplador direcional que divide a energia em duas partes iguais. No caso uma metade da energia do pulso se propagará no braço (1) e a outra metade é direcionada ao braço (2) de referência. O laser de bombeio semiconductor de 980 nm (Comprimento de onda) interage com EDFA amplificando parte do pulso provido do OTDR. Através da reflexão os dois pulsos retornam e são registrados pelo OTDR, mas antes que isso ocorra os dois pulsos passam pelo filtro de interferência para que o ruído da ESA seja reduzido [6]. O cálculo do ganho neste sistema é dado pela diferença em os picos (1) e (2) em dB, como mostra a figura 3. Ainda na figura 3, observamos o gráfico obtido pelo OTDR a partir do esquema mostrado na figura 2. Neste gráfico, podemos observar as reflexões dos pontos 1 e 2, e pela diferença entre esses dois pontos é possível determinar o ganho, que para este caso foi 15 dB com uma potência laser de bombeio de 17 mW. Também observamos na figura 3 a presença de outro pico que surgiu devido à reflexão entre a fibra óptica padrão e o EDFA, já que as mesmas possuem núcleos com diâmetros diferentes.

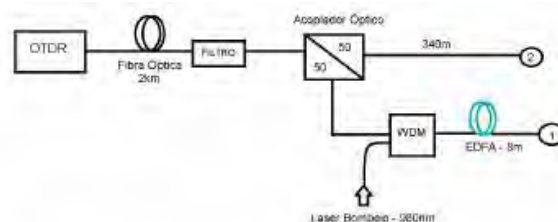


Figura 2: Montagem para a caracterização do EDFA através do ganho.

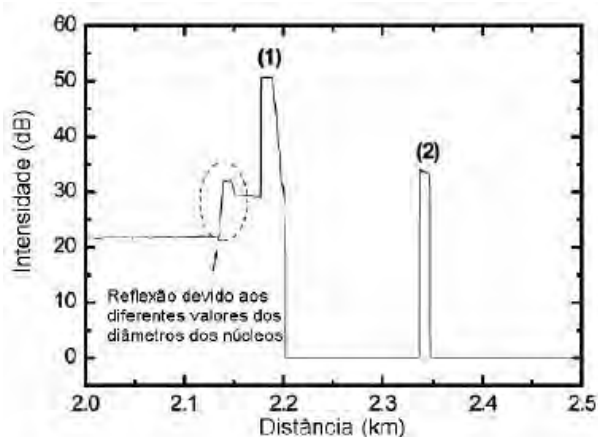


Figura 3: Gráfico mostrado pelo OTDR para o esquema mostrado na figura 2.

4 Resultados Finais e Discussões

Na figura 4, variamos a largura temporal do pulso de prova gerado pelo o OTDR e podemos dizer que o pulso de prova (baixa intensidade) não interfere destrutivamente no processo de amplificação do mesmo. Ainda na figura 4, observamos que com o aumento da potência do laser de bombeio, o ganho também irá aumentar até atingir o regime de saturação. Para baixas potências o ganho é negativo devido à absorção no EDFA e acima de 20 mW o ganho passa a ser máximo 20 dB.

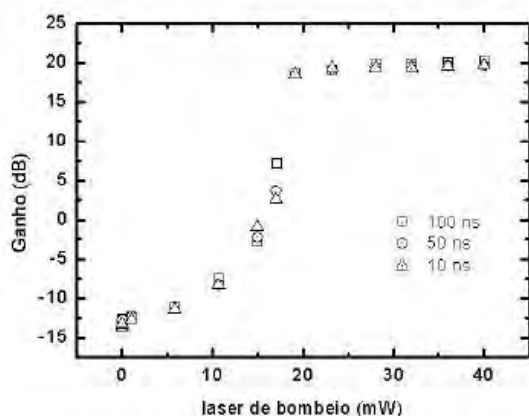


Figura 4: Relação entre o ganho e a potência do laser de bombeio de 980 nm.

5 Conclusões

Na caracterização do EDFA, obtemos um ganho de 20 dB usando a técnica de reflectometria óptica, que é muito utilizada na construção de sensores ópticos à base de fibra óptica. Também observamos que o pulso de prova (para diferentes larguras temporais e conseqüentemente para

diferentes energias) proveniente do OTDR não influencia no processo de amplificação do mesmo. Este resultado servirá como parâmetro na construção de sensores ópticos amplificados à base de fibra óptica, onde precisamos saber a potência de entrada no EDFA em um dado ponto do sistema e associá-lo ao respectivo ganho no EDFA.

6 Agradecimentos

Agradecemos a Escola Politécnica de Pernambuco – POLI - UPE através de seu programa de Iniciação Científica e ao Departamento de Eletrônica e Sistema – DES – UFPE por nos permitir usa as estruturas de seus laboratórios de pesquisa.

Referências

- [1] CHITZ, Edson. “Otimização de amplificadores ópticos a fibra dopada a partir de simulação”. Curitiba, 2000. Tese (Mestrado em Telemática) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.
- [2] NASCIMENTO, J.F.; ARCANJO, E.C.; Joaquim F. Martins Filho; Silva, M. “Characterization of an Amplified OTDR Fiber-optic Multipoint Sensor System”. In: IMOC, 2011.
- [3] CLEIDE NIELLE SOUZA NEVES, “Análise de Redes Ópticas WDM com Amplificadores EDFA e Raman Utilizando o Software Optisystem”, Belém, 2007.
- [4] NASCIMENTO, J. F.; GUIMARAES, J.; Carlos E. S. Marciel; Daniel L. Fontana; Eduardo Fontana; Joaquim F. Martins Filho; Isnaldo J. Souza Coêlho. “Influência da Rugosidade na Resposta de Sensores de Corrosão à Base de Fibra Óptica”. In: momag, 2010, Vila Velha – ES.

Estudos Empíricos Aplicados ao Management Function Deployment (MFD)

Cunha Júnior, H. B.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
hbjc@ecomp.poli.br

Coutinho, L. D.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
ldc@ecomp.poli.br

Aguiar, B. C. G.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
bcga@ecomp.poli.br

Silveira, D. S.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
de-nis@ecomp.poli.br

Carvalho, G. H. P.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
gustavohpcarvalho@ecomp.poli.br

Resumo *Aumentar a maturidade dos processos de gerenciamento dos projetos é uma preocupação enfatizada por vários modelos de maturidade de processos existentes. Porém, deseja-se também aumentar a importância estratégica da melhoria destes processos. O método Management Function Deployment (MFD), inspirado no Quality Function Deployment (QFD), foi proposto justamente com o intuito de viabilizar este alinhamento. Portanto, este artigo analisa as técnicas de alinhamento estratégico da melhoria de processos, a partir de uma revisão sistemática da literatura, como também propõe uma ferramenta de apoio ao uso de técnicas baseadas no QFD.*

Abstract *Increasing the maturity of project management processes is one concern of many process maturity models. Besides increasing, it is also important to pay attention to the strategic importance of these processes improvements. The Management Function Deployment (MFD) method, an adaptation of the Quality Function Deployment (QFD), has been proposed with the purpose of make this alignment feasible. Therefore, this article analyses the techniques for strategic alignment of process improvements based on a systematic literature review and also proposes a tool to support the use of techniques inspired on QFD.*

1 Introdução

Aumentar a maturidade dos processos de gerenciamento dos projetos é uma preocupação enfatizada pelos vários modelos existentes: o Organizational Project Management Maturity Model (PMI, 2008); o Project Management Maturity Model (CRAWFORD, 2006); o Portfolio, Programme and Project Management Maturity Model (OGC, 2008); o PRINCE2 Maturity Model (OGC, 2006); o Kerzner Project Management Maturity Model (KERZNER, 2005) e o Modelo de Maturidade em Gerenciamento de Projetos (PRADO, 2008).

Porém, deseja-se também aumentar a importância estratégica da melhoria destes processos. Este desejo baseia-se na premissa de que alinhar a melhoria das práticas de gerenciamento de projetos às estratégias do negócio facilita significativamente o alcance das estratégias organizacionais (SRIVANNABOON, 2006). No entanto, apesar de alguns modelos já terem incorporado a preocupação com o alinhamento estratégico, ainda são poucos os estudos que oferecem guias práticos de como alcançar este alinhamento.

Para suprir esta lacuna, propôs um método, denominado *Management Function Deployment* (MFD) (CARVALHO; SILVA; FRANÇA, 2010), o qual se baseia no método *Quality Function Deployment* (QFD) (COHEN, 1995). Através do MFD, é possível identificar quais melhorias nos processos de gerenciamento de projetos devem ser priorizadas em função dos objetivos estratégicos traçados pela organização.

Mais recentemente, uma primeira adaptação do MFD foi criada com o intuito de permitir o alinhamento estratégico da melhoria dos processos de incubação presentes no Centro de Referência para Apoio a Novos Empreendimentos: o *Incubation Function Deployment* (IFD) (CARVALHO; SILVA, 2010).

Apesar destas iniciativas, é preciso realizar uma revisão da literatura mais aprofundada com o intuito de verificar que outras alternativas a literatura apresenta para o alinhamento estratégico da melhoria de processos. Além disso, é também importante levantar que ferramentas existem para apoiar o uso de técnicas baseadas no QFD.

2 Problema de Pesquisa e Objetivos

Portanto, este projeto está associado à investigação dos seguintes problemas de pesquisa:

- [P1] Que técnicas existem para alinhar estrategicamente a melhoria de processos?

- [P2] Quais ferramentas existem para apoiar o uso de técnicas baseadas no QFD?

A partir destes problemas são traçados os objetivos principais desta pesquisa:

- [P1-O1] Elaborar o protocolo de uma revisão sistemática da literatura capaz de responder o primeiro problema desta pesquisa (P1).
- [P1-O2] Realizar uma revisão sistemática aderente ao protocolo definido por P1-O1.
- [P1-O3] Realizar uma análise quantitativa e qualitativa a partir dos trabalhos catalogados e analisados na revisão sistemática da literatura.
- [P2-O1] Levantar os requisitos funcionais e não-funcionais de uma ferramenta computacional para auxiliar o planejamento e a aplicação do método QFD e suas variações, em particular, o MFD e o IFD.
- [P2-O2] Projetar uma arquitetura com baixo acoplamento, alta coesão e extensível para a ferramenta computacional descrita em O1.
- [P2-O3] Desenvolver um software portátil que satisfaça os requisitos funcionais e não funcionais associados à P2-O1 e que seja aderente à arquitetura fruto de P2-O2.

3 Metodologia

O desenvolvimento da pesquisa será baseado no: (i) planejamento e execução de um estudo empírico secundário, uma revisão sistemática da literatura e (ii) planejamento e desenvolvimento de um software. Desta forma, pretende-se alcançar os objetivos listados anteriormente. Para tanto, foram delineadas as seguintes etapas:

- [E1] Nivelar o conhecimento dos participantes em relação aos conceitos-chave: (a) modelos de maturidade, (b) modelos de referência de processos, (c) modelos de avaliação de processos, (d) gerenciamento de projetos, (e) planejamento estratégico, (f) modelos de maturidade em gerenciamento de projetos e (g) alinhamento estratégico.
- [E2] Revisar a literatura para identificar e analisar trabalhos recentes relacionados a métodos que permitam o alinhamento estratégico da melhoria de processos, em particular, métodos que sejam derivados do QFD.

- [E3] Definir os requisitos previstos em P2-O1.
- [E4] Projetar a arquitetura prevista em P2-O2.
- [E5] Desenvolver a ferramenta computacional prevista em P2-O3.
- [E6] Escrever artigo(s) e relatório(s) técnico(s).

4 Metodologia

Os primeiros materiais utilizados nesta pesquisa constituíram-se de artigos cedidos tanto pelo professor responsável como encontrados na internet, além da dissertação de mestrado (CARVALHO, 2010), onde foram abordados os temas pertinentes ao projeto. A partir das leituras realizadas, foi possível aprender e entender os conceitos básicos referentes ao assunto em questão. Dentre eles, pode-se explicitar:

- **Melhoria dos processos de gerenciamento de projetos de software:** ações que têm o objetivo de melhorar a capacidade dos processos de gerenciamento.
- **Alinhamento estratégico:** garantir que a melhoria dos processos de gerenciamento sejam guiados pelas metas da instituição, e não apenas pelas práticas da engenharia de software.
- **Modelos de maturidade:** permitem avaliar a qualidade dos processos de desenvolvimento e gerenciamento de acordo com normas e modelos definidos na literatura.

Além dos conceitos citados acima, foram estudadas as definições dos métodos *Quality Function Deployment* (QFD) e *Management Function Deployment* (MFD).

- **QFD:** é um método para o planejamento estruturado de produtos que explicita as necessidades do cliente podendo assim analisar as possíveis soluções propostas e seus respectivos impactos na satisfação dessas necessidades.
- **MFD:** é um método para o planejamento estruturado das melhorias dos processos de gerenciamento de software, avaliando cada melhoria quanto à contribuição para a satisfação das metas estratégicas. A Figura 1 apresenta algumas das matrizes do MFD, especificamente as constituintes da *House of Management* (HoM), cujo preenchimento guia o uso deste método.

Matriz de Respostas Técnicas											
Processos de Gerenciamento de Projetos											
Metas Estratégicas	Processo 1 (P1)			Processo 2 (P2)			Processo 3 (P3)			Matriz de Planejamento	
	IMPACTO	IMPACTO	IMPACTO	IMPACTO	IMPACTO	IMPACTO	IMPACTO	IMPACTO	IMPACTO	IMPACTO	IMPACTO
Meta 1 (M1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 2 (M2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 3 (M3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 4 (M4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 5 (M5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 6 (M6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 7 (M7)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 8 (M8)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 9 (M9)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 10 (M10)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 11 (M11)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 12 (M12)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 13 (M13)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 14 (M14)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 15 (M15)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 16 (M16)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 17 (M17)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 18 (M18)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 19 (M19)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 20 (M20)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 21 (M21)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 22 (M22)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 23 (M23)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 24 (M24)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 25 (M25)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 26 (M26)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 27 (M27)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 28 (M28)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 29 (M29)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 30 (M30)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 31 (M31)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 32 (M32)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 33 (M33)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 34 (M34)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 35 (M35)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 36 (M36)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 37 (M37)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 38 (M38)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 39 (M39)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 40 (M40)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 41 (M41)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 42 (M42)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 43 (M43)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 44 (M44)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 45 (M45)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 46 (M46)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 47 (M47)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 48 (M48)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 49 (M49)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 50 (M50)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 51 (M51)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 52 (M52)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 53 (M53)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 54 (M54)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 55 (M55)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 56 (M56)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 57 (M57)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 58 (M58)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 59 (M59)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 60 (M60)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 61 (M61)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 62 (M62)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 63 (M63)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 64 (M64)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 65 (M65)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 66 (M66)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 67 (M67)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 68 (M68)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 69 (M69)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 70 (M70)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 71 (M71)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 72 (M72)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 73 (M73)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 74 (M74)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 75 (M75)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 76 (M76)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 77 (M77)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 78 (M78)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 79 (M79)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 80 (M80)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 81 (M81)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 82 (M82)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 83 (M83)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 84 (M84)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 85 (M85)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 86 (M86)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 87 (M87)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 88 (M88)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 89 (M89)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 90 (M90)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 91 (M91)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 92 (M92)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 93 (M93)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 94 (M94)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 95 (M95)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 96 (M96)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 97 (M97)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 98 (M98)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 99 (M99)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meta 100 (M100)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 1. Matrizes da *House of Management* (HoM).

De forma sucinta, a HoM permite identificar quais processos de gerenciamento (listados na Matriz de Respostas Técnicas) são mais importantes em função das metas estratégicas (listadas em Metas Estratégicas) mais importantes. A identificação do que virá a ser mais importante dá-se pelo preenchimento e cálculos realizados nas matrizes de Planejamento (prioriza as metas) e Técnica (prioriza os processos em função das metas priorizadas).

A partir da HoM é construída um outro conjunto de matrizes, denominadas *House of Action* (HoA) que tem como entrada algumas das matrizes preenchidas e calculadas da HoM. De forma análoga, a HoA permite priorizar ações de melhoria de processos em função dos processos priorizados na HoM.

Finalizado esse conjunto de leitura, deu-se início ao estudo de protocolos de Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Foi feita uma RSL sobre alinhamento estratégico da melhoria de processos para identificar os trabalhos recentes, além dos já conhecidos, relacionados ao tema. De acordo com Kitchenham (2007), uma RSL diferencia-se de uma revisão bibliográfica por fazer esta de forma sistemática com uma grande preocupação de não introduzir vies nos resultados. Para tanto, Kitchenham sugere que uma RSL seja estruturada conforme as seguintes fases:

- **Planejamento:** necessário para confirmar a necessidade de uma RSL. É nessa fase que o protocolo formal de pesquisa, de acordo com um conjunto de regras, é elaborado. O protocolo é uma descrição sistemática e completa de como a pesquisa será feita.
- **Condução:** com o protocolo de pesquisa feito, é determinada uma estratégia de pesquisa e a revisão poderá ser iniciada. Em seguida, os trabalhos selecionados pela pesquisa são lidos e analisados.
- **Disseminação:** finalizada a análise dos artigos, os resultados potencialmente relevantes serão listados e disseminados na comunidade associada.

Foi estudado também os conceitos de modelagem de software. O uso efetivo desta prática da engenharia de software se faz necessário para que exista um bom planejamento do desenvolvimento de um *software*, antes do início

do desenvolvimento do mesmo. Esta ação antecipa problemas e, faz com que o desenvolvimento do programa seja mais fácil, menos susceptível a problemas, além de promover o reuso do código. Portanto, foi necessário um estudo sobre esses conceitos, especificamente a elaboração de casos de uso e suas definições. como também dos diagramas de classe conceituais. Para tanto, fez-se uso de livros da biblioteca e materiais disponíveis na internet.

Além do estudo dos tópicos acima listados, fez-se o estudo, através de livros e fontes na internet, da linguagem de programação *Action Script*.

5 Resultados Finais

Os resultados finais constituem-se das conclusões da Revisão Sistemática da Literatura, associados aos objetivos [P1-O1, P1-O3], e da arquitetura e protótipo de uma ferramenta de apoio ao QFD e MFD, associado aos objetivos [P2-O1, P2-O3].

5.1 Protocolo e Resultados da Revisão Sistemática da Literatura

A realização deste estudo secundário da Engenharia de Software experimental se deu com a finalidade de pesquisar por trabalhos científicos relacionados ao problema 1 (P1). Dessa forma, se faz necessário a elaboração de um protocolo de pesquisa, pois essa é uma ferramenta sistemática, ou seja, caso outra pessoa deseje refazer essa mesma pesquisa, seguindo o passo a passo do protocolo, ela irá obter, no mínimo, os mesmos resultados.

Primeiramente, foram definidas duas questões de pesquisa que iriam englobar todo o contexto deste projeto. Foram elas:

- *Q1: Como alinhar a melhoria de processos de software, descritos nos modelos de maturidade, às estratégias de negócio?*
- *Q2: Como utilizar o QFD na melhoria de processos de software descritos nos modelos de maturidade?*

Feito isso, definiu-se que a base de busca dos artigos científicos seria o site do IEEEExplore Digital Library. Outras bases de artigos não foram consideradas por limitação de tempo. Foram definidas as palavras-chave para cada questão de pesquisa, e, posteriormente, traduzidas para a língua inglesa. O próximo passo foi a análise de como essas palavras deveriam ser organizadas para que fossem retornados os artigos relevantes ao tema em questão. Para

tanto, fez-se uso da construção de uma forma normal conjuntiva.

Assim, foram formadas as duas strings de busca, uma para cada questão de pesquisa, e elas foram utilizadas para iniciar a busca no site citado acima. São elas:

- *S1: ((((((process*) AND improve*) AND ((strateg*) OR business)) AND align*) AND software) AND "maturity model*")*
- *S2: ((((((process*) AND improve*) AND ((QFD) OR "quality function deployment")) AND software) AND "maturity model*")*

Baseados em critérios de inclusão e exclusão de que artigos seriam lidos e quais não seriam, assim como em um procedimento de aplicação destes critérios, dos 57 artigos retornados para a primeira string e dos 16 artigos retornados para a segunda string, 15 e 9 foram selecionados respectivamente, totalizando 24 trabalhos.

Em seguida, cada um destes 24 artigos foi lido e alguns dados foram extraídos dos mesmos, conforme o formulário de coleta de dados apresentado na Tabela 2. O objetivo deste formulário é extrair as principais informações de cada um dos artigos, para, posteriormente, ser feita uma análise quantitativa e qualitativa dos artigos lidos.

Tabela 2. Formulário de Coleta de Dados da RSL.

Formulário de Coleta de Dados		
ID:	Pesquisador:	Data:
Título do Trabalho:		
Autores:		
Fonte de Pesquisa:	Tipo (evento/periódico):	
Local de Publicação		Ano:
Critérios de inclusão:		
Questões de Pesquisa		
Q1: Resumo da estratégia de alinhamento:		
Q2: Em que contexto a estratégia pode ser aplicada?		
Q3: Existe alguma ferramenta de apoio?		
Q4: Quais as características e limitações desta ferramenta?		
Q5: Quais os principais pontos positivos da estratégia?		
Q6: Quais as principais limitações da estratégia?		
Q7: Quais são os trabalhos futuros sugeridos pelos autores?		

Em seguida, com o intuito de avaliar o quanto estes trabalhos contribuem para responder o problema de pesquisa P1, elaborou-se um formulário de avaliação da qualidade (Tabela 3) que foi preenchido para cada estudo lido. A coluna valores foi respondida de acordo com a seguinte escala:

- Discordo plenamente: 1 ponto
- Discordo: 2 pontos;
- Neutro: 3 pontos;

- Concordo: 4 pontos;
- Concordo plenamente: 5 pontos.

Tabela 3. Formulário de Avaliação da Qualidade.

Avaliação de Qualidade		
Item	Crterios de Qualidade	Valores
1	As perguntas Q2 a Q7 foram respondidas com exatidão?	
2	O artigo descreve o processo metodológico de forma replicável?	
3	As respostas das perguntas Q2 e Q5 são baseadas em evidências?	

Em seguida, para calcular a qualidade de um trabalho, calculou-se o percentual de pontos obtidos em relação ao máximo possível (3 questões x 5 pontos = 15 pontos) e utilizaram-se os estratos propostos por Beecham et al. (2007) que podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4. Estratos de Qualidade.

Faixa de Notas	Estratos
>86%	Excelente
66% ≤ <85%	Muito Boa
46% ≤ <65%	Boa
26% ≤ <45%	Média
< 26%	Baixa

Finalizado todo o processo de busca e leitura dos artigos relevantes, a análise dos mesmos foi realizada. Primeiramente, fez-se uma análise quantitativa e em seguida uma qualitativa. Os gráficos a seguir apresentam uma visão geral dos resultados da análise quantitativa.

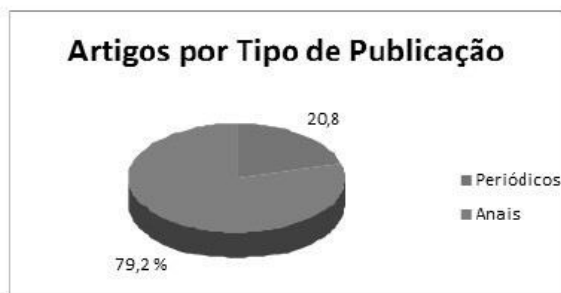


Gráfico 1. Distribuição por Tipo de Publicação.

O Gráfico 1 mostra que a maioria dos trabalhos ainda são resultados preliminares uma vez que a grande maioria dos mesmos foram publicados em eventos, enquanto que a minoria em periódicos.

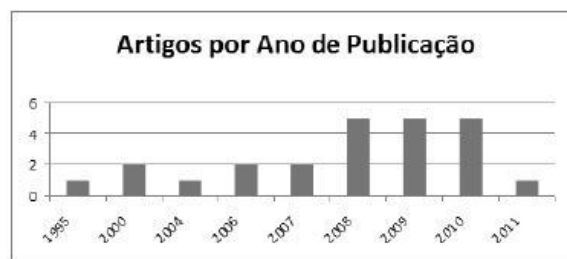


Gráfico 2. Distribuição por Ano de Publicação.

Já o Gráfico 2 mostra que esta área de estudo é relativamente recente, o artigo mais antigo é de 1995, e que o interesse pela mesma tem crescido nos últimos anos como mostra a maior quantidade de trabalhos publicados nos últimos anos.

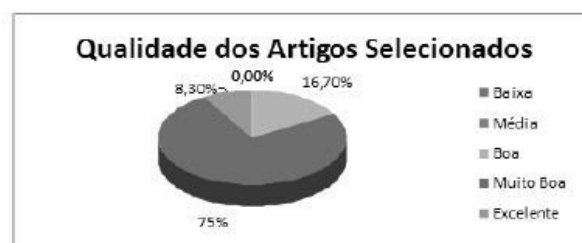


Gráfico 3. Distribuição da Qualidade dos Artigos Selecionados.

Como pode-se notar no Gráfico 3, a maioria dos artigos lidos teve uma classificação muito boa e nenhum com uma qualidade baixa ou regular. O que mostra que as strings de busca conseguiram capturar artigos relevantes que ajudam a resposta a pergunta de pesquisa P1 do estudo.

Quanto à análise qualitativa, ao ser realizada a leitura dos artigos inclusos relacionados à string 1, foi possível perceber que uma grande quantidade deles possuía como foco principal ressaltar para as empresas, no ambiente competitivo de negócios atual, a importância do alinhamento estratégico de tais negócios com a melhoria dos processos de software.

Esses artigos citavam como o planejamento estratégico é uma das etapas chaves para uma melhor concretização dos objetivos da empresa, como deve estar relacionado a estratégias de marketing competitivas e que alinhamento pode ser visto como aplicação de TI de forma adequada e oportuna, em harmonia com as estratégias de negócio, com os objetivos e necessidades. Vários deles enfatizam a necessidade do treinamento e educação dos profissionais de TI na área de negócios e liderança para alcançar os objetivos do alinhamento estratégico.

Em um dos artigos selecionados, foi analisado o uso de técnicas de desenvolvimento ágil em conjunto com alinhamento estratégico e concluiu-se que, embora nem sempre essas técnicas ágeis sejam eficientes, quando utilizadas com o alinhamento, melhoram seu desempenho. Os artigos relatam também as vantagens dessa prática para as empresas e apresentam, em níveis variados de profundidade e detalhamento, o passo a passo de como iniciar e pôr em prática dentro das empresas essa idéia.

Quanto aos artigos inclusos ligados à string 2, foi encontrado desde a simples explicação do que é o QFD até diversas aplicações dessa técnica, ou sua combinação com algumas outras.

Em um deles, a fim de obter as necessidades do cliente da forma mais eficiente possível, foi combinado com o QFD o uso de outra técnica, conhecida com lógica *fuzzy*. A razão da escolha dessa nova técnica deve-se ao fato da pesquisa estar inserida em um contexto repleto de variáveis incertas, e *fuzzy* é ideal quando se torna necessário lidar com ambientes nebulosos.

Em outro, citou-se um método semelhante ao QFD chamado SERVQUAL, desenvolvido em 1988. Era um software piloto, mas detectou-se que vários estudos sobre a teoria desse novo método necessitavam ser realizados.

Vale ressaltar que foi encontrado um artigo que fez uso de uma das ferramentas pagas pesquisadas no início deste projeto de pesquisa chamada QFDCapture. O contexto do artigo estava inserido no Ensino Superior e tinha como objetivo aumentar a qualidade da educação nas Universidades e Escolas chinesas, local onde foi realizada a pesquisa.

Portanto, observou-se que as técnicas de alinhamento propostas estão sendo cada vez mais utilizadas, visto que elas priorizam as necessidades de uma empresa. Contudo, mas que ainda é um campo de pesquisa em aberto.

5.2 Modelagem e Desenvolvimento de Ferramentas de Apoio ao QFD e MFD

Como um dos objetivos desta pesquisa é desenvolver uma ferramenta que auxilie o uso de técnicas baseadas no QFD, inicialmente, fez-se uma pesquisa na internet de ferramentas de apoio ao uso do QFD. Como apresentado na Tabela 5, existem algumas ferramentas, mas nenhuma delas é gratuita. Com base nas funcionalidades presentes nessas ferramentas, como também em funcionalidades ausentes, mas desejadas, realizou-se um levantamento dos requisitos que deveriam ser implementados no software.

Tabela 5. Comparação de Ferramentas de Apoio ao QFD.

Ferramenta	Idioma	Gratuita
Path Maker	Inglês	Não
Product Development Toolkit	Inglês	Não
QFDCapture Professional Edition	Inglês	Não
Logic MindGuide	Alemão	Não
Qualica QFD	Inglês e Alemão	Não
QFD Designer V4	Inglês	Não
CIMOS QFD 2.0	Inglês	Não

Feito isso, foi elaborado um Diagrama de Casos de Uso que auxilia o desenvolvedor a construir um cenário representando as funcionalidades do sistema do ponto de vista do usuário. Para representar esse diagrama, foi utilizada a *Unified Modeling Language* (UML) já que ela apresenta uma notação gráfica. Para cada caso de uso, definiu-se também as pré e pós-condições dos mesmos. A Figura 2 apresenta os casos de uso identificados.

Finalizada a construção do diagrama de casos de uso, o próximo passo foi elaborar o Diagrama de Classes. Diferente do primeiro, esse diagrama é direcionado para o desenvolvimento do software, visto que ele é uma representação da estrutura e relações das classes do programa. Neste diagrama devem estar contidas todas as classes que pertençam ao código-fonte da ferramenta. As Figuras 3, 4 e 5 apresentam os principais diagramas de classes da ferramenta. Como prática de modularidade, a arquitetura da ferramenta baseou-se no padrão MVC (*Model View Control*) no qual são separadas em diferentes camadas: (i) as classes que manipulam a interface gráfica (*View*), (ii) as classes básicas do sistema (*Model*) e (iii) as classes que controlam o uso das classes básicas (*Control*) a partir das requisições feitas pela interface gráfica.

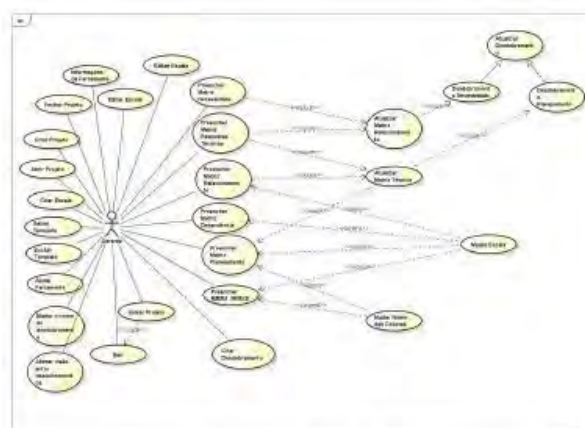


Figura 2. Casos de Uso da Ferramenta.

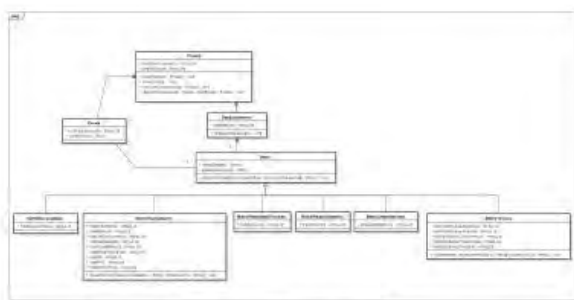


Figura 3. Classes Básicas da Ferramenta.

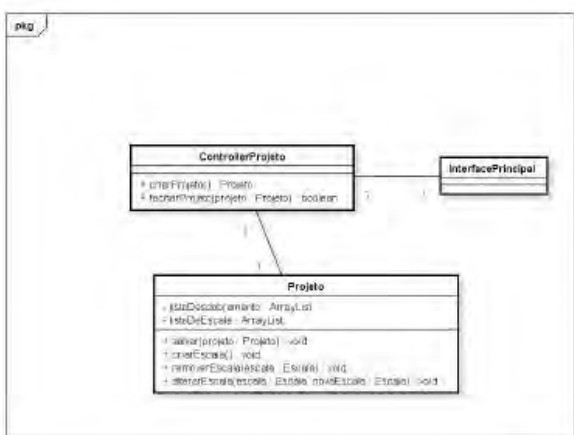


Figura 4. Classe Controladora das Classes de Projeto.

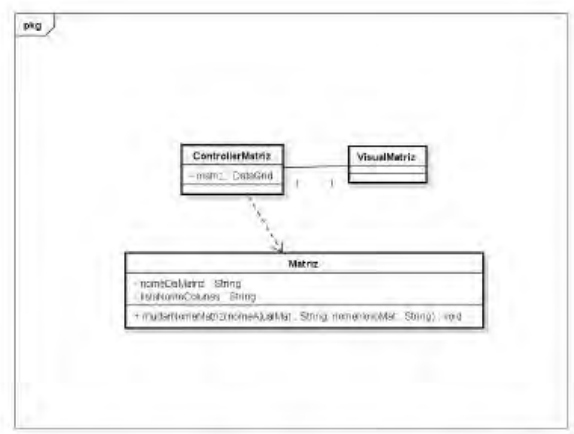


Figura 5. Classe Controladora das Classes de Matrizes.

Finalizado o processo de modelagem e documentação da ferramenta, deu-se início ao seu desenvolvimento. Foi escolhida a linguagem de programação *Action Script* por oferecer um melhor suporte para interface gráfica. As Figuras 6 e 7 mostram algumas telas da ferramenta.

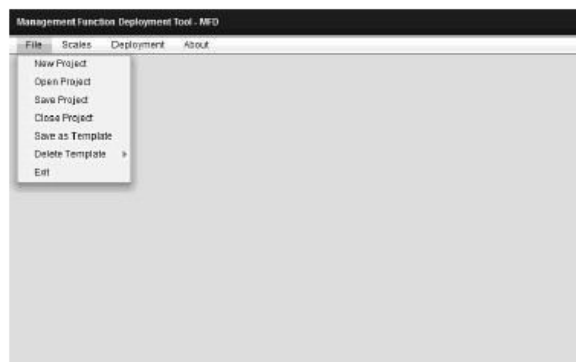


Figura 6. Tela Principal da Ferramenta.

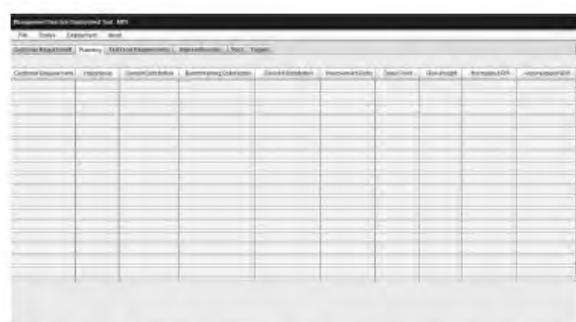


Figura 7. Tela da Matriz de Planejamento da House of Management (HoM).

6 Conclusões

Pode-se afirmar que o projeto de pesquisa conseguiu responder as perguntas de pesquisa propostas (P1 e P2), como também alcançar os seus objetivos através da realização da revisão sistemática e do desenvolvimento de uma versão inicial de uma ferramenta gratuita de apoio ao uso de técnicas baseadas no QFD.

A partir deste projeto de pesquisa, foi possível aprender diversos conceitos da área de Engenharia de Software dos quais destacam-se:

- 1 Conceitos básicos da área de Qualidade de Software;
- 2 Como elaborar e conduzir uma Revisão Sistemática de Literatura;
- 3 Como elicitar e documentar requisitos de software;
- 4 Como elaborar Diagramas de Caso de Uso e Diagramas de Classe;
- 5 Como desenvolver aplicações *web* utilizando a linguagem *Action Script*.

Como principais trabalhos futuros, deseja-se (i) a conclusão da implementação da ferramenta e (ii) a sua avaliação prática através de um experimento controlado, conforme proposto inicialmente no projeto.

Referências

- [1] BEECHAN, S. et al. *Motivation in Software Engineering: A systematic literature review*. Information and Software Technology: Elsevier, v. 50, n. 860-878, 2007.
- [2] CARVALHO, G. H. P.; SILVA, F. Q. B.; FRANÇA, A. C. C. *Management Function Deployment: um Método para o Alinhamento Estratégico da Melhoria dos Processos de Gerenciamento de Projetos de Software*. In: Proceedings do IX Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software. Belém, PA, Brasil: SBQS, 2010, p. 135-149.
- [3] CARVALHO, G. H. P.; SILVA, F. Q. B. *Uma Proposta para o Alinhamento Estratégico da Melhoria dos Processos de Incubação Presentes no Modelo CERNE*. In: Proceedings do XX Seminário Nacional de Parques Tecnológicos e Incubadoras de Empresas. Campo Grande, MS, Brasil: ANPROTEC, 2010.
- [4] COHEN, L. *Quality Function Deployment: How to Make QFD Work for You*. Harrisonburg, VA, USA: Addison-Wesley Longman, 1995.
- [5] CRAWFORD, J. K. *Project Management Maturity Model*. 2nd. ed. Pennsylvania, PA, USA: Auerbach Publications, 2006
- [6] EASTERBROOK, S. 2007. *Empirical research methods for software engineering*. In Proceedings of the Twenty-Second IEEE/ACM international Conference on Automated Software Engineering. Atlanta, Georgia, USA: ASE, 2007.
- [7] KERZNER, H. *Using the Project Management Maturity Model: Strategic Planning for Project Management*. 2nd. ed. New Jersey, NJ, USA: Wiley, 2005.
- [8] KITCHENHAM, B. 2007. *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering Version 2.3*
- [9] OGC. *PRINCE2 Maturity Model*. UK: Office of Government Commerce, 2006.
- [10] OGC. *Portfolio, Programme and Project Management Maturity Model*. 2nd. ed. UK: Office of Government Commerce, 2008.
- [11] PMI. *Organizational Project Management Maturity Model (OPM3) – Knowledge Foundation* (2nd Edition). 2nd. ed. Pennsylvania, PA, USA: Project Management Institute, 2008.
- [12] PRADO, D. *Maturidade em Gerenciamento de Projetos*. Minas Gerais, MG, Brasil: INDG Tecnologia e Serviços, 2008.
- [13] SRIVANNABOON, S. *Linking Project Management with Business Strategy*. In: PMI Global Congress (North America). Washington, WA, USA: Project Management Institute, 2006.
- [14] WOHLIN, C.; RUNESON, P; HÖST, M. *Experimentation in Software Engineering: Na Introduction*. Springer: 1999.

Otimização Dinâmica de uma Planta de Gaseificação para Geração de Combustível

Silva, F. R.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
engmec_rodrigues@hotmail.com

Silva, J. D.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

O alcatrão formado durante o processo de gaseificação de biomassa é um composto indesejável que prejudica o rendimento do processo e danifica equipamentos. O foco deste trabalho é o estudo da otimização da reação de eliminação do alcatrão através do processo catalítico utilizando-se um catalisador à base de níquel. Através do modelo matemático proposto, os componentes do processo de craqueamento do alcatrão serão analisados, quantificando-se produção e consumo e o comportamento das temperaturas nas fases gasosa e sólida para um reator de leito fixo.

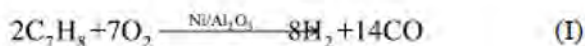
Abs- tract

The tar formed during the gasification of biomass is an undesirable compound that interferes with the performance of the process and damage equipment. The focus of this paper is to study the optimization of tar elimination reaction through a catalytic process using a catalyst based on nickel. Through the mathematical model, the components of the tar cracking process will be analyzed, quantifying the production and consumption and the behavior of temperatures in gaseous and solid phases for a fixed bed reactor.

1 Introdução

Em tempos de alta demanda energética e desenvolvimento sustentável, diversas tecnologias alternativas de geração de energia são desenvolvidas. A gaseificação de biomassa tem se mostrado um dos principais e mais eficientes processos renováveis de geração de energia.

Durante a gaseificação, a biomassa, através de reações com ar, oxigênio ou vapor de água é convertida em uma mistura de gases denominada gás de síntese, já que este servirá de matéria-prima na fabricação de combustíveis. Além dos gases há também a formação de uma pequena quantidade de hidrocarbonetos voláteis juntamente com o alcatrão [1]. O alcatrão formado durante o processo de gaseificação pode ser definido como todo contaminante orgânico com peso molecular maior do que o do benzeno [2]. Porém, esta é apenas uma das diversas definições dadas a este composto, já que para defini-lo com base em sua composição química fatores como variação da composição do produto gasoso final desejado para uma aplicação particular e de como o alcatrão é coletado e analisado devem ser levados em consideração. O alcatrão é um composto indesejável, pois pode condensar ou polimerizar-se em estruturas mais complexas nas tubulações, filtros e trocadores de calor, danificando equipamentos, diminuindo a eficiência total e aumentando o custo do processo [3]. Um dos principais desafios para a otimização da gaseificação de biomassa é como eliminar o alcatrão produzido durante o processo. A aplicação de catalisadores no leito do gaseificador a altas temperaturas serve para oxidar a molécula de alcatrão, gerando moléculas menores e mais simples e ainda H_2 e CO , principais componentes do produto gasoso final. Os tipos de catalisadores mais utilizados e pesquisados para este fim são a dolomita calcinada, olivina e catalisadores a base de Ni, sendo o mais eficiente o catalisador a base de níquel. O objetivo deste trabalho é caracterizar o processo de otimização da gaseificação de biomassa através do craqueamento do alcatrão utilizando catalisador a base de níquel. Para isso será considerada a seguinte reação:



O tolueno foi usado como composto modelo de alcatrão, porque representa uma estrutura aromática estável resultante em alcatrões formados em processo a altas temperaturas [4]. Através do modelo matemático desenvolvido serão analisados os perfis de temperatura e de transferência de massa para todos os componentes da reação tanto em função do tempo como em função do comprimento do reator.

2 Modelagem Matemática

Neste trabalho o modelo matemático para a reforma catalítica do alcatrão foi desenvolvido através das equações de conservação de energia e massa, assim desenvolveu-se um conjunto de equações que caracteriza a transferência de energia e massa para o fenômeno da reforma do alcatrão cuja solução descreve os perfis de temperatura e fração molar para todos os componentes da reação estudada. As equações gerais que descrevem o fenômeno da reforma catalítica do alcatrão são as seguintes:

- Balanço de energia para a fase vapor:

$$\begin{aligned} (1 - \epsilon_s) \rho_v C_{p,v} \frac{\partial T_v}{\partial t} + \rho_v C_{p,v} V_v \frac{\partial T_v}{\partial z} = \\ (1 - \epsilon_s) \lambda_{a,v} \frac{\partial^2 T_v}{\partial z^2} - (\alpha_{vs} \eta_{CE} \epsilon_s a_s) [T_v - T_s] \\ + \alpha_{vw} (1 - \eta_{EC}) a_w [T_v - T_w] \end{aligned} \quad (1)$$

- Condições iniciais de contorno:

$$T_v|_{t=0} = T_{v,e} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} (1 - \epsilon_s) \lambda_{a,v} \frac{\partial T_v}{\partial z} \Big|_{z=0^+} = \\ \rho_v C_{p,v} V_v [T_v|_{z=0^+} - T_{v,e}] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{\partial T_v}{\partial z} \Big|_{z=L} = 0 \quad (4)$$

- Balanço de energia para fase sólida:

$$\begin{aligned} \epsilon_s \rho_s C_{p,s} \frac{\partial T_s}{\partial t} = \epsilon_s \lambda_{a,s} \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2} \\ + (\alpha_{vs} M_{CE} \epsilon_s a_s) [T_v - T_s] + \epsilon_s r'_x (-\Delta H_r) \end{aligned} \quad (5)$$

- Condições iniciais e de contorno:

$$T_s|_{z=0} = T_{s,e} \quad (6)$$

$$\varepsilon_s \lambda_{\text{RX},s} \left. \frac{\partial T_s}{\partial z} \right|_{z=0^+} = q_c \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial T_s}{\partial z} \right|_{z=L} = 0 \quad (8)$$

- Balanco de massa para o tolueno:

$$h_t \frac{\partial C_t}{\partial t} + \frac{4Q_g}{\pi d^2} \frac{\partial C_t}{\partial z} = D_t \frac{\partial^2 C_t}{\partial z^2} + \varepsilon_s M_t R_t \quad (9)$$

- Condições iniciais e de contorno para o tolueno:

$$C_t|_{t=0} = C_{t,0} \quad (10)$$

$$D_t \left. \frac{\partial C_t}{\partial z} \right|_{z=0^+} = \frac{4Q_g}{\pi d^2} [C_t|_{z=0^+} - C_{t,0}] \quad (11)$$

$$\left. \frac{\partial C_t}{\partial z} \right|_{z=1} = 0 \quad (12)$$

- Balanco de massa para o O₂:

$$h_t \frac{\partial C_{O_2}}{\partial t} + \frac{4Q_g}{\pi d^2} \frac{\partial C_{O_2}}{\partial z} = D_{O_2} \frac{\partial^2 C_{O_2}}{\partial z^2} + \varepsilon_s M_{O_2} R_{O_2} \quad (13)$$

- Condições iniciais e de contorno para o O₂

$$C_{O_2}|_{t=0} = C_{O_2,0} \quad (14)$$

$$D_{O_2} \left. \frac{\partial C_{O_2}}{\partial z} \right|_{z=0^+} = \frac{4Q_g}{\pi d^2} [C_{O_2}|_{z=0^+} - C_{O_2,0}] \quad (15)$$

$$\left. \frac{\partial C_{O_2}}{\partial z} \right|_{z=1} = 0 \quad (16)$$

- Balanco de massa para o CO:

$$h_t \frac{\partial C_{CO}}{\partial t} + \frac{4Q_g}{\pi d^2} \frac{\partial C_{CO}}{\partial z} = D_{CO} \frac{\partial^2 C_{CO}}{\partial z^2} + \varepsilon_s M_{CO} R_{CO} \quad (17)$$

- Condições iniciais e de contorno para o CO:

$$C_{CO}|_{t=0} = C_{CO,0} \quad (18)$$

$$D_{CO} \left. \frac{\partial C_{CO}}{\partial z} \right|_{z=0^+} = \frac{4Q_g}{\pi d^2} [C_{CO}|_{z=0^+} - C_{CO,0}] \quad (19)$$

$$\left. \frac{\partial C_{CO}}{\partial z} \right|_{z=1} = 0 \quad (20)$$

- Balanco de massa para o H₂:

$$h_t \frac{\partial C_{H_2}}{\partial t} + \frac{4Q_g}{\pi d^2} \frac{\partial C_{H_2}}{\partial z} = D_{H_2} \frac{\partial^2 C_{H_2}}{\partial z^2} + \varepsilon_s M_{H_2} R_{H_2} \quad (21)$$

- Condições iniciais e de contorno para o H₂:

$$C_{H_2}|_{t=0} = C_{H_2,0} \quad (22)$$

$$D_{H_2} \left. \frac{\partial C_{H_2}}{\partial z} \right|_{z=0^+} = \frac{4Q_g}{\pi d^2} [C_{H_2}|_{z=0^+} - C_{H_2,0}] \quad (23)$$

$$\left. \frac{\partial C_{H_2}}{\partial z} \right|_{z=1} = 0 \quad (24)$$

As equações de (1) a (24) podem ser simplificadas segundo as seguintes hipóteses simplificadoras: (i) modelo

unidimensional, (ii) sistema não-isotérmico, (iii) as temperaturas da fase gasosa e sólida são modeladas através de modelos de dispersão térmica e (iv) os balanços de massa para a fase gasosa e sólida são modelados levando-se em consideração os efeitos de dispersão axial. Baseado nessas hipóteses, o modelo matemático simplificado para a reforma catalítica do alcatrão é formado pelas equações simplificadas de transporte energia e massa que descrevem o comportamento das temperaturas e frações molares. Assim, as equações simplificadas que formam o modelo são expressas por:

- Balanço de energia para a fase vapor:

$$\frac{dT_v}{dt} = \alpha_{13,v} (T_v)_j^{(k)} + \alpha_{3,v} (T_s)_j^{(k)} - \alpha_{4,v} (T_w)_j^{(k)} + \alpha_{14,v} \quad (25)$$

- Balanço de energia para a fase sólida:

$$\frac{dT_s}{dt} = \alpha_{21,s} (T_s)_j^{(k)} + \alpha_{16,s} (T_v)_j^{(k)} + \alpha_{22,s} \quad (26)$$

- Balanço de a massa do tolueno:

$$\frac{dC_t}{dt} = \alpha_{12,t} (C_t)_j^{(k)} + \alpha_{13,t} \quad (27)$$

- Balanço de massa para o O₂:

$$\frac{dC_{O_2}}{dt} = \alpha_{12,O_2} (C_{O_2})_j^{(k)} + \alpha_{13,O_2} \quad (28)$$

- Balanço de massa para o CO:

$$\frac{dC_{CO}}{dt} = \alpha_{12,CO} (C_{CO})_j^{(k)} + \alpha_{13,CO} \quad (29)$$

- Balanço de massa para H₂:

$$\frac{dC_{H_2}}{dt} = \alpha_{12,H_2} (C_{H_2})_j^{(k)} + \alpha_{13,H_2} \quad (30)$$

A simplificação das equações gerou um conjunto de parâmetros α que estão apresentados nas tabelas 1 a 5 do apêndice A.

3 Resultados e discussões

Nesta seção, os resultados da simulação do modelo serão apresentados. A resolução do modelo mostra o perfil do comportamento da temperatura nas fases gasosa e sólida e fração molar para todos os componentes envolvidos na reação de reforma catalítica do alcatrão. Estas equações foram resolvidas usando o Método de Euler, na sequência, foi desenvolvido um programa computacional na linguagem FORTRAN para fornecer os resultados das variáveis Tfg, Tfs, C7H8, O₂, CO e H₂. O programa recebeu parâmetros de experimentos independentes mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros para simulação

$\epsilon_s = 0,72$	$a_w = 0,57 \text{ m}^2$
$\rho_v = 0,956 \text{ kg/m}^3$	$q_c = 208 \text{ kJ/s}$
$C_{p,v} = 32 \text{ J/mol K}$	$h_t = 0,46$
$V_v = 0,021 \text{ m/s}$	$Q_g = 2,32 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
$\lambda_{ax,v} = 2,09 \text{ J/m}^2\text{s K}$	$d = 1 \text{ m}$
$\alpha_{vs} = 1,81 \text{ W/m}^2\text{ K}$	$D_t = 1,25 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
$\eta_{ce} = 0,35$	$D_{O_2} = 3,24 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
$a_s = 156 \text{ m}^{-1}$	$D_{co} = 4,61 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
$\rho_s = 1250 \text{ kg/m}^3$	$D_{H_2} = 6,52 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
$C_{p,s} = 18 \text{ J/mol K}$	$\eta_i = 0,95$
$\lambda_{ax,s} = 1,79 \text{ J/m}^2\text{s K}$	$\eta_{O_2} = 0,65$
$\Delta H_r = -283 \text{ kJ/mol}$	$\eta_{CO} = 0,79$
$\alpha_{vw} = 0,12$	$\eta_{H_2} = 0,86$

Os resultados serão mostrados em sua forma gráfica. A figura 1 caracteriza os perfis de temperatura para as fases gasosa e sólida, sendo O aumento da temperatura tanto da fase sólida como da fase gasosa devido à agitação molecular dentro do gaseificador.

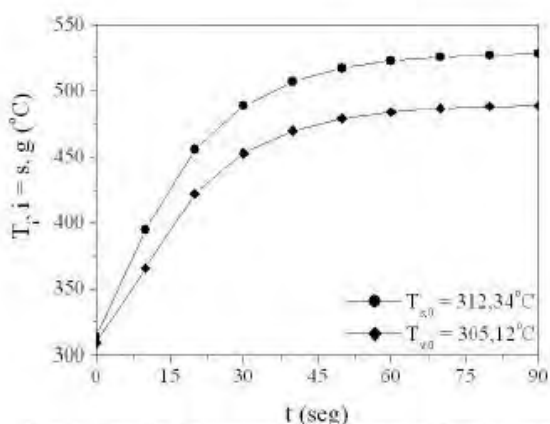


Fig 1. Perfis de temperatura para a fase vapor (T_v) e para a fase sólida (T_s)

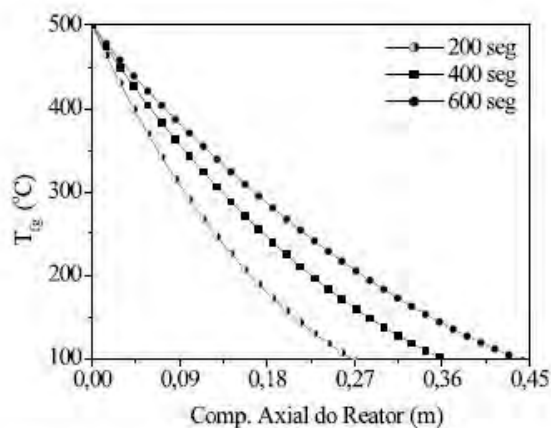


Fig 2. Perfil de temperatura para a fase vapor (T_v) em função do comprimento axial do reator.

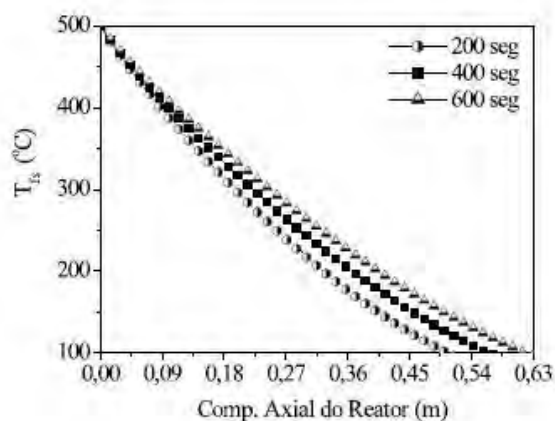


Fig 3. Perfis de temperatura para a fase sólida (T_s) em função do comprimento axial do reator.

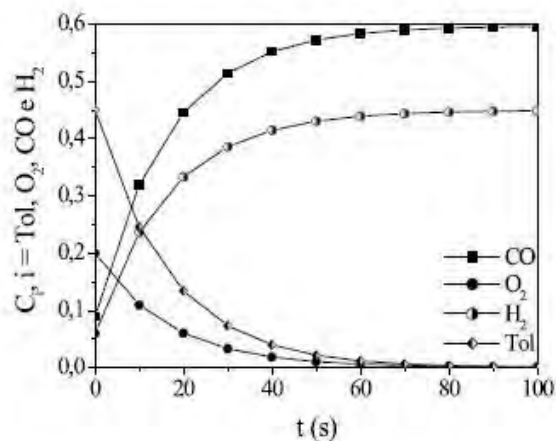


Fig 4. Perfis de concentrações das espécies químicas C_7H_8 , O_2 , CO e H_2 , na saída do reator catalítico trifásico de leito fixo.

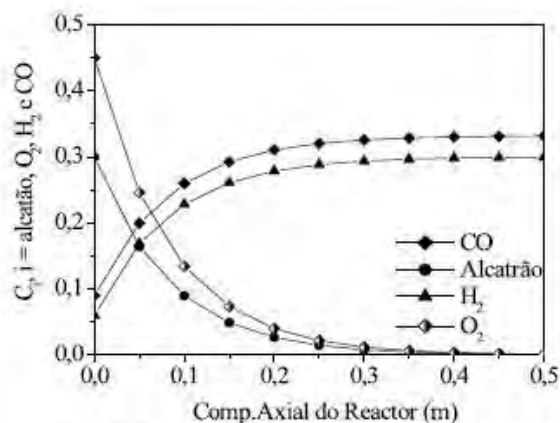


Fig 5. Comportamento dos componentes gasoso em função do comprimento axial do reator de leito fixo

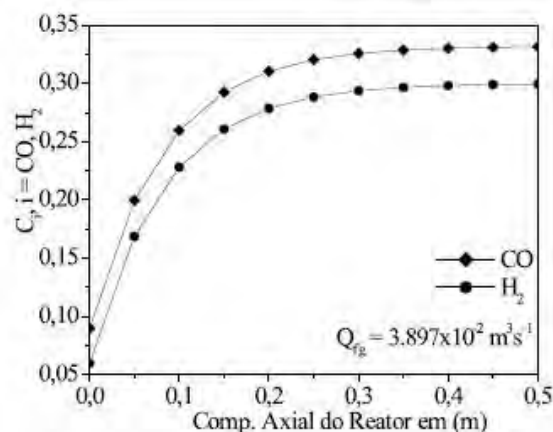


Fig 8. Produção dos componentes H₂ e CO em função do comprimento axial do reator de leito fixo

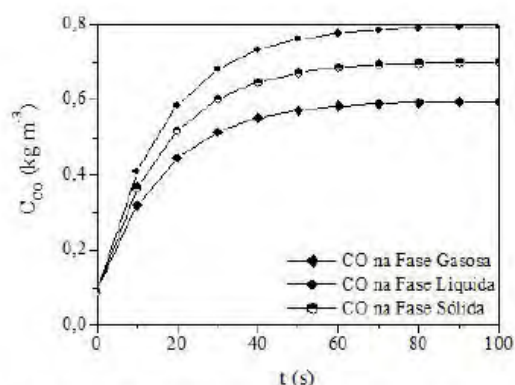


Fig 6. Perfis da concentração do componente CO nas fases gasosa, líquida e sólida do reator trifásico catalítico de leito fixo

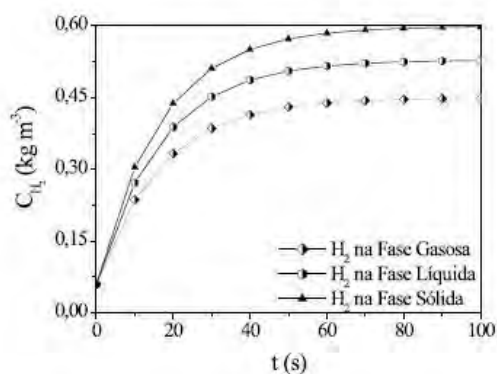


Fig 7. Perfis da concentração do componente H₂ nas fases gasosa, líquida e sólida

4 Conclusões

O estudo mostrado no presente trabalho permitiu analisar os comportamentos da temperatura do fluido gasoso, da temperatura na fase sólida e da fração molar das espécies químicas C₇H₈, O₂, CO e H₂ em função do tempo e do comprimento do reator. A partir dos resultados mostrados, pode-se apresentar as seguintes conclusões:

- A temperatura da fase vapor aumenta estabilizando-se em $\pm 487,5^\circ\text{C}$;
- A temperatura da fase sólida aumenta estabiliza-se em $\pm 525^\circ\text{C}$;
- Após 600 segundos de reação a temperatura da fase gasosa chega a 100°C a 0,45m do comprimento do reator;
- Após 600 segundos de reação, a temperatura da fase sólida chega a 100°C a 0,63m do comprimento do reator;
- A concentração de CO cresce conforme o tolueno e o O₂ são consumidos e estabilizasse em $\pm 0,6\text{ Kg}$;
- A concentração de H₂ cresce conforme o tolueno e o O₂ são consumidos e estabilizasse em $\pm 0,45\text{ Kg}$;

- A concentração de CO aumenta enquanto o alcatrão e o O₂ são consumidos e estabiliza-se em $\pm 0,325\text{Kg/m}^3$ a 0,375m do comprimento do reator;
- A concentração de H₂ aumenta enquanto o alcatrão e o O₂ são consumidos e estabiliza-se a $\pm 0,375\text{m}$ do comprimento do reator;
- As concentrações de CO e H₂ estabilizam-se a $\pm 0,45\text{m}$ do comprimento do reator.

5 Notações

$C_{p,v}$ Capacidade calorífica da fase vapor de tolueno, J/mol K

$C_{p,s}$ Capacidade calorífica da fase sólida, J/mol K

V_v Velocidade da fase vapor, m/s

a_s Área específica por volume, m^2/m^3

T_v Temperatura da fase vapor, K

T_s Temperatura da fase sólida, K

T_w Temperatura da parede, K

$T_{v,l}$ Temperatura do vapor na saída do reator, K

a_w Área da parede do reator, m^2

r'_x Taxa de reação, mol/s m^3

$-\Delta H_r$ Entalpia da reação, k J/mol

q_c Fluxo de calor na entrada do reator, kJ/s

h_t Coeficiente de retenção do tolueno, (-)

h_{o_2} Coeficiente de retenção do oxigênio, (-)

h_{co} Coeficiente de retenção do óxido de carbono, (-)

h_{h_2} Coeficiente de retenção do hidrogênio, (-)

Q_g Vazão do gás, m^3/s

d Diâmetro do reator, m

D_t Coeficiente molecular de difusão do tolueno, m^2/s

D_{o_2} Coeficiente molecular de difusão do oxigênio, m^2/s

D_{co} Coeficiente molecular de difusão do óxido de carbono, m^2/s

D_{h_2} Coeficiente molecular de difusão do hidrogênio, m^2/s

R_t Taxa de reação para o tolueno, 1/s

R_{o_2} Taxa de reação para o oxigênio, 1/s

R_{co} Taxa de reação para o monóxido de carbono, 1/s

R_{H_2} Taxa de reação para o hidrogênio, 1/s

6 Letras Gregas

ε_s Porosidade da fase sólida, (-)

ρ_v Densidade da fase vapor de tolueno, Kg/m^3

ρ_s Densidade da fase sólida, Kg/m^3

$\lambda_{ax,v}$ Dispersão térmica do vapor de tolueno, J/m²s K

$\lambda_{ax,s}$ Dispersão térmica da fase sólida, J/m²s K

$\alpha_{v,s}$ Coeficiente de transferência vapor de tolueno-sólido, W/m² K

η_{CE} Eficiência de molhabilidade externa, (-)

η_t Fator de efetividade do tolueno, (-)

η_{o_2} Fator de efetividade do oxigênio, (-)

η_{co} Fator de efetividade do monóxido de carbono, (-)

η_{H_2} Fator de efetividade do hidrogênio, (-)

$\alpha_{v,w}$ Coeficiente de transferência na parede, (-)

7 Agradecimentos

Os autores deste artigo gostariam de agradecer ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro dado. (Processo 48354 / 2007 / Projeto / Título: Otimização Dinâmica de uma Planta de Gaseificação para Geração de Gás Combustível./ Edital CNPq 15 / 2007 – Universal).

Referências

- [1] Sundac, Nikola., Catalytic Cracking of tar from biomass gasification. Department of Chemical Engineering,, Lund University, P. O. Box 124, SE-221 00 Lund, Sweden
- [2] Devi, L., Ptasinski, K.J., Janssen, F.J.J.G, A review of primary measures for tar elimination in biomass gasification process, Biomass and Bioenergy, Vol. 24., pp. 125-140 (2003).
- [3] Lamacz, A.; Krzton, A.; Musi, A.; Da Costa, P.; Reforming of Model Gasification Tar Compounds. Catalysis Letters,V. 128, Numbers 1-2, pp. 40-48.
- [4] Swierczynski, D.; Courson, C.; Kiennemann, A Study of steam reforming of toluene used as model compound of tar produced by biomass gasification. Chemical Engineering and Processing, v. 47, p. 508-513, 2007.
- [5] Milne T.A., Evans R.J., Biomass Gasifier “Tars”: Their Nature, Formation and Conversion, NREL/TP-570-25357(1998).
- [6] Castro, A.J.A., Cassiano, D.A., Ferreira, N.L., Gaseificação do bagaço de cana- eaçucar: modelagem, análise e comparação com sistema real. Exacta, v. 7, pp 39-47 (2009).

8 Apêndice A

Tabela A1: Parâmetros α para o sistema de equações

$\alpha_{1,v} = \frac{V_v}{(1 - \varepsilon_s)}$	$\alpha_{12,v} = \frac{2\Delta z \alpha_{8,v}}{2 + \Delta z \alpha_{8,v}}$
$\alpha_{2,v} = \frac{\lambda_{ax,v}}{\rho_v C_{p,v}}$	$\alpha_{13,v} = \alpha_{5,s} \alpha_{8,v} + \alpha_{6,v} \alpha_{11,v} + \alpha_{7,v}$
$\alpha_{3,v} = \frac{\alpha_{vs} \eta_{CE} \varepsilon_s a_s}{(1 - \varepsilon_s) \rho_v C_{p,v}}$	$\alpha_{14,v} = \alpha_{6,v} \alpha_{12,v} - \alpha_{5,v} \alpha_{10,v}$
$\alpha_{4,v} = \frac{\alpha_{vw} (1 - \eta_{EC}) a_w}{(1 - \varepsilon_s) \rho_v C_{p,v}}$	$\alpha_{15,s} = \frac{\lambda_{ax,s}}{\rho_s C_{p,s}}$

$\alpha_{5,v} = \frac{\alpha_{2,v}}{(\Delta z)^2} - \frac{\alpha_{1,v}}{2\Delta z}$	$\alpha_{16,s} = \frac{\alpha_{vs} \eta_{CE} a_s}{\rho_s C_{p,s}}$
$\alpha_{6,v} = \frac{\alpha_{2,v}}{(\Delta z)^2} + \frac{\alpha_{1,v}}{2\Delta z}$	$\alpha_{17,s} = \frac{r'_s (-\Delta H_f)}{\rho_s C_{p,s}}$
$\alpha_{7,v} = \alpha_{4,v} - \alpha_{3,v} - \frac{2\alpha_{2,v}}{(\Delta z)^2}$	$\alpha_{18,s} = \frac{\alpha_{15,s}}{(\Delta z)^2}$
$\alpha_{8,v} = \frac{\rho_v C_{p,v} V_v}{(1 - \varepsilon_s) \lambda_{ax,v}}$	$\alpha_{19,s} = \left[\frac{-2\alpha_{15,s}}{(\Delta z)^2} - \alpha_{16,s} \right]$
$\alpha_{9,v} = \frac{2 + \Delta z \alpha_{8,v}}{2 - \Delta z \alpha_{8,v}}$	$\alpha_{20,s} = \frac{-q_s \Delta z}{\varepsilon_s \lambda_{ax,s}}$
$\alpha_{10,v} = \frac{2\Delta z \alpha_{8,v}}{2 - \Delta z \alpha_{8,v}}$	$\alpha_{21,s} = 2\alpha_{18,s} + \alpha_{19,s}$
$\alpha_{11,v} = \frac{2 - \Delta z \alpha_{8,v}}{2 + \Delta z \alpha_{8,v}}$	$\alpha_{22,s} = \alpha_{17,s} - \alpha_{18,s} \alpha_{20,s} + \alpha_{18,s} \alpha_{21,s}$

Tabela A2: Parâmetros α para o sistema de equações

$\alpha_{1,i} = \frac{D_i}{h_i}$	$\alpha_{7,i} = \frac{4Q_g}{\pi d^2 D_i}$
$\alpha_{2,i} = \frac{\tau_e M_i R_i}{h_i}$	$\alpha_{8,i} = \left[\frac{2 + \alpha_{7,i} \Delta z}{2 - \alpha_{7,i} \Delta z} \right]$
$\alpha_{3,i} = \frac{4Q_g}{h_i \pi d^2}$	$\alpha_{9,i} = \left[\frac{2\alpha_{7,i} \Delta z}{2 - \alpha_{7,i} \Delta z} \right]$
$\alpha_{4,i} = \left[\frac{\alpha_{1,i}}{\Delta z^2} - \frac{\alpha_{2,i}}{2\Delta z} \right]$	$\alpha_{10,i} = \left[\frac{2 - \alpha_{7,i} \Delta z}{2 + \alpha_{7,i} \Delta z} \right]$
$\alpha_{5,i} = \left[\frac{\alpha_{1,i}}{\Delta z^2} + \frac{\alpha_{2,i}}{2\Delta z} \right]$	$\alpha_{11,i} = \left[\frac{2\alpha_{7,i} \Delta z}{2 + \alpha_{7,i} \Delta z} \right]$
$\alpha_{6,i} = \frac{2\alpha_{1,i}}{\Delta z^2}$	$\alpha_{12,i} = \alpha_{8,i} \alpha_{9,i} + \alpha_{5,i} \alpha_{10,i} - \alpha_{6,i}$
$\alpha_{13,i} = \alpha_{5,i} \alpha_{12,i} + \alpha_{2,i} - \alpha_{4,i} \alpha_{9,i}$	

Tabela A3: Parâmetros α_{O_2} para o sistema de equações

$a_{1,O_2} = \frac{D_{O_2}}{h_{O_2}}$	$a_{7,O_2} = \frac{4Q_g}{\pi d^2 D_{O_2}}$
$a_{2,O_2} = \frac{\epsilon_s M_{O_2} R_{O_2}}{h_{O_2}}$	$a_{8,O_2} = \left[\frac{2 + a_{1,O_2} \Delta z}{2 - a_{7,O_2} \Delta z} \right]$
$a_{3,O_2} = \frac{4Q_g}{h_{O_2} \pi d^2}$	$a_{9,O_2} = \left[\frac{2a_{1,O_2} \Delta z}{2 - a_{7,O_2} \Delta z} \right]$
$a_{4,O_2} = \left[\frac{a_{1,O_2}}{\Delta z^2} - \frac{a_{1,O_2}}{2\Delta z} \right]$	$a_{10,O_2} = \left[\frac{2 - a_{7,O_2} \Delta z}{2 + a_{7,O_2} \Delta z} \right]$
$a_{5,O_2} = \left[\frac{a_{1,O_2}}{\Delta z^2} + \frac{a_{1,O_2}}{2\Delta z} \right]$	$a_{11,O_2} = \left[\frac{2a_{7,O_2} \Delta z}{2 + a_{7,O_2} \Delta z} \right]$
$a_{6,O_2} = \frac{2a_{1,O_2}}{\Delta z^2}$	$a_{12,O_2} = a_{4,O_2} a_{8,O_2} +$ $a_{5,O_2} a_{10,O_2} - a_{6,O_2}$
$a_{13,O_2} = a_{3,O_2} a_{11,O_2} + a_{2,O_2} - a_{4,O_2} a_{9,O_2}$	

Tabela A5: Parâmetros α_{CO} para o sistema de equações

$a_{1,CO} = \frac{D_{CO}}{h_{CO}}$	$a_{7,CO} = \frac{4Q_g}{\pi d^2 D_{CO}}$
$a_{2,CO} = \frac{\epsilon_s M_{CO} R_{CO}}{h_{CO}}$	$a_{8,CO} = \left[\frac{2 + a_{1,CO} \Delta z}{2 - a_{7,CO} \Delta z} \right]$
$a_{3,CO} = \frac{4Q_g}{h_{CO} \pi d^2}$	$a_{9,CO} = \left[\frac{2a_{1,CO} \Delta z}{2 - a_{7,CO} \Delta z} \right]$
$a_{4,CO} = \left[\frac{a_{1,CO}}{\Delta z^2} - \frac{a_{1,CO}}{2\Delta z} \right]$	$a_{10,CO} = \left[\frac{2 - a_{7,CO} \Delta z}{2 + a_{7,CO} \Delta z} \right]$
$a_{5,CO} = \left[\frac{a_{1,CO}}{\Delta z^2} + \frac{a_{1,CO}}{2\Delta z} \right]$	$a_{11,CO} = \left[\frac{2a_{7,CO} \Delta z}{2 + a_{7,CO} \Delta z} \right]$
$a_{6,CO} = \frac{2a_{1,CO}}{\Delta z^2}$	$a_{12,CO} = a_{4,CO} a_{8,CO} +$ $a_{5,CO} a_{10,CO} - a_{6,CO}$
$a_{13,CO} = a_{3,CO} a_{11,CO} + a_{2,CO} - a_{4,CO} a_{9,CO}$	

Tabela A4: Parâmetros α_{H_2} para o sistema de equações

$a_{1,H_2} = \frac{D_{H_2}}{h_{H_2}}$	$a_{7,H_2} = \frac{4Q_g}{\pi d^2 D_{H_2}}$
$a_{2,H_2} = \frac{\epsilon_s M_{H_2} R_{H_2}}{h_{H_2}}$	$a_{8,H_2} = \left[\frac{2 + a_{1,H_2} \Delta z}{2 - a_{7,H_2} \Delta z} \right]$
$a_{3,H_2} = \frac{4Q_g}{h_{H_2} \pi d^2}$	$a_{9,H_2} = \left[\frac{2a_{1,H_2} \Delta z}{2 - a_{7,H_2} \Delta z} \right]$
$a_{4,H_2} = \left[\frac{a_{1,H_2}}{\Delta z^2} - \frac{a_{1,H_2}}{2\Delta z} \right]$	$a_{10,H_2} = \left[\frac{2 - a_{7,H_2} \Delta z}{2 + a_{7,H_2} \Delta z} \right]$
$a_{5,H_2} = \left[\frac{a_{1,H_2}}{\Delta z^2} + \frac{a_{1,H_2}}{2\Delta z} \right]$	$a_{11,H_2} = \left[\frac{2a_{7,H_2} \Delta z}{2 + a_{7,H_2} \Delta z} \right]$
$a_{6,H_2} = \frac{2a_{1,H_2}}{\Delta z^2}$	$a_{12,H_2} = a_{4,H_2} a_{8,H_2} +$ $a_{5,H_2} a_{10,H_2} - a_{6,H_2}$
$a_{13,H_2} = a_{3,H_2} a_{11,H_2} + a_{2,H_2} - a_{4,H_2} a_{9,H_2}$	

Sistema de Controle de Vazão de Líquidos para Aplicações em Medições de Reações Biológicas

Cavalcanti, G. O.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
gustavooc@poli.br

Oliveira, R. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
moraismorais10@hotmail.com

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema controlado por computador que produzirá um fluxo laminar contínuo pressionando o êmbolo de uma seringa. O sistema construído será acoplado ao reflectômetro automático [1] do Grupo de Fotônica da UFPE e possibilitará a análise de reações biológicas. O sistema foi dimensionado para obter fluxo laminar e um aplicativo desenvolvido em C++ realiza o controle da vazão e permite definir a proporção de cada fluido nos experimentos.

Abstract

This paper shows the development of a computercontrolled system that will produce a continuous laminar flow by pressing the plunger of a syringe. The system will be coupled with an automatic reflectometer [1] of the Photonics Group at UFPE and make possible analysis of biological reactions. A software was developed in C++ to flow control and allows to define the proportion of each fluid in the experiments.

1 Introdução

O sistema de controle de fluxo é composto pelas peças automatizadas onde são encaixadas as seringas, pelo módulo controlador e por um computador onde fica hospedado o software de controle, conforme Fig.1. O software serve como interface para o usuário do sistema, o módulo controlador se comunica com o computador através da porta serial USB e controla os motores de passo (MP) [2], que atuam nos êmbolos dos cilindros, e assim produzem o fluxo no tubo de saída dos cilindros, como apresentado na Fig.1. Uma peça especial, que não faz parte deste projeto, será desenvolvida para que o fluxo seja integrado ao

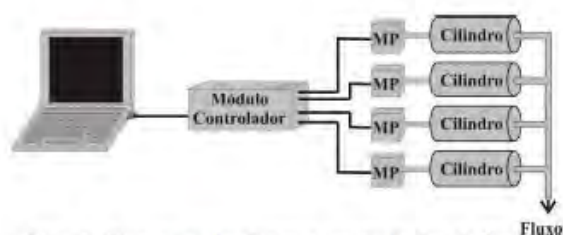


Fig. 1. Esquema do sistema controlador de fluxo.

reflectômetro, através do qual será possível a caracterização de reações biológicas.

O software possuirá uma interface gráfica que facilitará a utilização do sistema. O principal componente do módulo controlador é o microprocessador PIC 18F4550 [3, 4] responsável pela comunicação serial USB com o computador, e suas portas de saída realizarão o controle dos motores de passo. Cada motor de passo será acoplado ao êmbolo de um cilindro que inicialmente conterá o líquido, mas que será expulso à medida que o êmbolo for empurrado pelo motor.

2 Sistema de Controle Fixo

No sistema de fluxo o cilindro apresentado na Fig.1 é uma seringa comercial que poderá possuir tamanhos diferentes. A vazão provocada pelo deslocamento do êmbolo da seringa em função da velocidade de deslocamento do êmbolo é

$$Q = \pi r^2 v \quad (1)$$

onde r é o raio do cilindro (seringa) e v é a velocidade do êmbolo [5, 6] que é controlada pela velocidade de rotação do motor de passo. A velocidade do fluido em um ponto "A" da tubulação pode ser determinado por

$$v_A = Q / S_A \quad (2)$$

onde S_A é a área da secção transversal por onde passa o fluido [5, 6].

O controle do fluxo e da velocidade do fluido é realizado pelo software hospedado no computador utilizando as equações apresentadas em (1) e (2) e os parâmetros de dimensões da seringa. O sistema possui dois softwares: o primeiro é a interface gráfica do sistema que é executado no computador e serve tanto para fazer os cálculos necessários para a movimentação dos motores quanto como uma interface para o usuário e o segundo está hospedado no microprocessador PIC do módulo controlador e é responsável pela movimentação básica dos motores (sentido, velocidade e distância).

2.1 Interface Gráfica do Sistema

O software de interface gráfica do sistema está em fase de conclusão e foi desenvolvido com um pequeno número de comandos, mas que possibilita ao operador controlar totalmente o sistema e montar diversos experimentos. A Fig. 2 apresenta a interface gráfica do software que é responsável por capturar, processar e enviar os comandos de controle dos motores via USB para o microprocessador. O processamento dos comandos é feito no computador de acordo com o pseudocódigo a seguir.

- Pseudocódigo para processamento dos dados de entrada do software
1. **Entrada:** Quantidade de líquido esperada, Tempo.
 2. Calcule o espaço a ser percorrido pelo êmbolo do cilindro.
 3. Calcule a quantidade de passos a ser dada pelo motor.
 4. Calcule o tempo necessário de intervalo entre cada passo.
 5. Envie os dados para o microprocessador PIC.

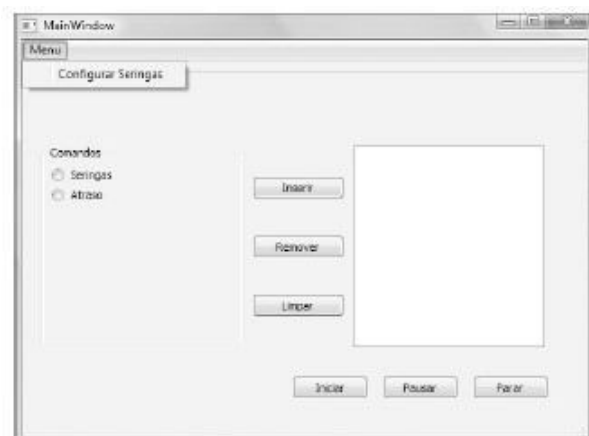


Fig. 2. Tela Principal da Interface Gráfica do sistema.

2.2 Módulo Controlador

O módulo controlador fornece os níveis de corrente e tensão adequados para o funcionamento e os sinais para o controle dos motores de passos [2]. Um microprocessador PIC 18F4550 [3, 4] recebe as informações do software de interface e controla os motores de passo. O software do microprocessador PIC foi desenvolvido utilizando o compilador CCS, da linguagem de programação "C". Este software controla a movimentação primária dos motores de acordo com o cálculo feito pelo software de interface, que é responsável por tratar a entrada do usuário, fazendo os cálculos necessários. O Pseudocódigo do software do microprocessador está apresentado a seguir.

- Pseudocódigo para execução dos comandos de controle do motor
1. **Entrada:** Quantidade de passos, Intervalo entre cada passo.
 2. **Para** cada iteração da quantidade de passo **Faça**
 3. Atribua o número binário correspondente para cada saída do PIC.
 4. Espere o intervalo entre cada passo.
 5. **Fim do Para.**

O circuito do módulo controlador foi desenvolvido e simulado no aplicativo "Proteus" para testes antes da montagem no Protoboard, conforme apresentado na Fig. 3. A utilização desta plataforma de simulação foi importante tanto para o desenvolvimento do módulo controlador como também do software de controle hospedado no PIC,

pois ela permite a integração do circuito montado com um possível código a ser gravado no microprocessador.

Após os testes de simulação, foram identificados e

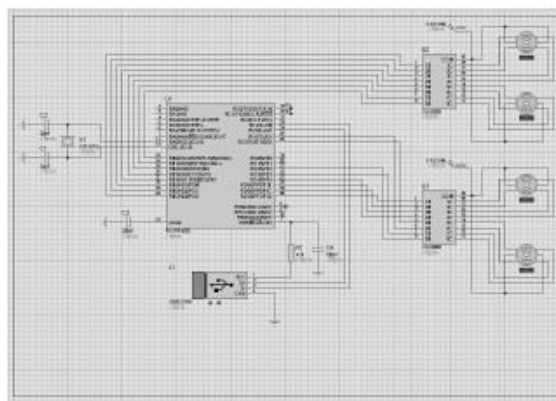


Fig. 3. Módulo de controle desenvolvido na plataforma de simulação "Proteus".

adquiridos os componentes necessários para a montagem do módulo controlador, que são:

- 1 - PIC18F4550;
- – ULN2803;
- 1 – Crystal (20MHz);
- 1 – Resistor (4.7k);
- 1 – Capacitor (100nF);
- 1 – Capacitor (200nF);
- – Capacitores (22pF).

Após aquisição dos componentes o circuito do controlador foi montado em um protoboard. Novos testes foram realizados no circuito em protoboard, antes de começar a confecção da placa de circuito impresso, conectorização dos motores de passo e encapsulamento, para colocar o circuito em uma caixa protetora.

Foi realizada uma análise dos motores de passo disponíveis quanto ao torque necessário, tensão e corrente. Para o desenvolvimento das peças de acoplamento foi feita uma análise de algumas peças já pertencentes ao grupo de Fônica da UFPE, e também de algumas máquinas semelhantes [7, 8, 9]. Após esta análise foi realizado o projeto das peças necessárias para a integração dos componentes mecânicos do sistema.

3 Peças Motorizadas

Foi realizada a análise do torque necessário para o motor de passo a ser utilizado e o passo do parafuso acoplado ao eixo deste motor, para atingir a precisão apresentada pelos dispositivos encontrados na literatura [7, 8, 9]. Assim como a capacidade de armazenamento do PIC, para conhecer a quantidade de memória que o software pode ocupar.

Todas as relações matemáticas dos componentes mecânicos que dizem respeito ao funcionamento do sistema já foram projetadas, bem como o algoritmo principal que é responsável pela movimentação dos motores, e a interface gráfica que pode ser observada na Fig. 2, e integrará as entradas passadas pelo usuário à parte lógica do sistema. Restando apenas a realização de algumas definições no algoritmo responsável pela movimentação dos motores e a confecção das peças mecânicas que serão realizadas na oficina mecânica do departamento de Física da UFPE.

O sistema será capaz de controlar o fluxo em quatro seringas simultaneamente. O projeto das peças mecânicas motorizadas já foi concluído e a Fig. 4 apresenta uma ilustração da estrutura que será construída.

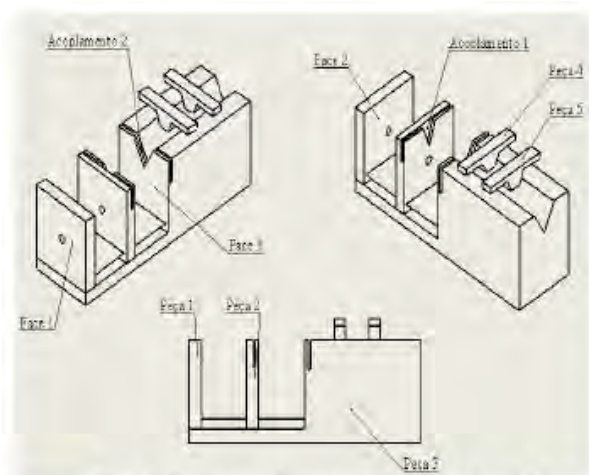


Fig. 4. Esquema de montagem das peças de acoplamento.

O motor de passo será fixado na Face 1 e o parafuso sem-fim que será colocado no seu eixo, transpassará as Peças 1 e 2 até chegar na Face 3, conforme ilustrado na Fig. 4. O êmbolo da seringa será encaixado no Acoplamento 1, pertencente a Peça 2, esta que se movimentará, de acordo com a rotação do parafuso sem-fim, entre as Faces 2 e 3 de maneira a comprimir o êmbolo. No Acoplamento 2 será encaixada a base da seringa, e as Peças 4 e 5 servirão para fixar essa base.

4 Conclusão

O projeto do sistema capaz de gerar um fluxo laminar de um líquido não viscoso, a temperatura ambiente e em baixas pressões foi realizado. O sistema será confeccionado e acoplado ao reflectômetro pertencente ao grupo de Fotônica da UFPE para possibilitar a caracterização de reações biológicas.

Todos os resultados obtidos até o momento estão de acordo com o planejamento. O circuito já foi projetado e construído em protoboard, as peças de acoplamento do motor de passo ao êmbolo do cilindro já foram projetadas, o software de interface com o usuário que precisou ser desenvolvido por último e o software do microprocessador, já estão em fase de conclusão.

Referências

- [1] CAVALCANTI, Gustavo Oliveira. Reflectômetro controlado por computador e sua aplicação na detecção de hidrogênio com filmes finos de paládio e ouro/paládio. Dissertação, Universidade Federal de Pernambuco.
- [2] MESSIAS, Antonio R. Disponível em: <<http://www.rogercom.com/pparalela/IntroMotorPasso.htm>> . Acesso em: 22 Mar. 2011, 14:05:45.
- [3] IBRAHIM, Dogan. Advanced PIC microcontroller projects in C: from USB to RTOS with the PIC18F series. Burlington: Elsevier, 2008.
- [4] PEREIRA, Fábio. Microcontroladores PIC: Programação em C. São Paulo: Érica, 2003.
- [5] Mecânica dos Fluidos. Disponível em: <http://200.210.165.28/mecanica/ciclo4/Mecanica_dos_Fluidos.pdf>. Acesso em: 22 Mar. 2011, 14:10:37.
- [6] Mecânica dos Fluidos. Disponível em: <<http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/Disciplinas/Fen%F4menosDeTransporte/Texto03.pdf>>. Acesso em: 22 Mar. 2011, 14:13:24.
- [7] Samtronic Infusion Systems. Disponível em: <<http://www.samtronic.com.br/site/>>. Acesso em: 22 Mar. 2011, 13:55:30.
- [8] Lambda Laboratory Instruments. Disponível em: <<http://www.lambda-instruments.com/?pages=>

portuguesebomba- de-seringa>. Acesso em: 15 jul. 2011, 10:25:43.

- [9] KD Scientific. Disponível em:
<<http://www.kdscientific.com/products/pumps/LegatoProgrammablePushPull.asp>>. Acesso em: 15 jul. 2011, 10:47:33.

Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada

Volume 2 – Número 1 – Outubro 2016

TRABALHOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – 2011-2012

Medição de perda e produtividade de argamassa industrializada no serviço de revestimento de fachada Caetano	
<i>Alisson Silva – A.L. Casado</i>	248
O Uso De Resíduos Da Construção Civil Como Agregados Na Produção De Concreto	
<i>Emilia Barros – Stela Fucale</i>	252
Fatores de Redução de resistência de geossintéticos devido a danos mecânicos causados por Resíduos de Construção e Demolição Reciclados RCDR	
<i>Felipe Barbosa – E.C.G. Santos</i>	259
Gerenciamento de risco de enchente: o caso Palmares	
<i>G. Amorim – S.R. Silva</i>	268
Avaliação das propriedades do Resíduo da Construção Civil RCC como subsídio para confecção de tijolos de solo-cimento	
<i>Laize Silva – K.P.V. Lafayette</i>	278
Análise das causas de acidentes de trabalho ocorridos numa obra e possíveis relações com Projeto	
<i>Priscilla Basto – Bianca Vasconcelos – Béda Bardokébas</i>	282
Análise da Influência da Composição granulométrica do resíduo de gesso nas propriedades do revestimento interno de parede	
<i>Rodrigo Cavalcanti – Yêda Povoas</i>	290
Desenvolvimento de algoritmos de controle para o uso em quadricópteros com aplicações em enxames de robôs	
<i>Denisse Asis – Marcilio Feitosa</i>	294
WiFi_Lab_2011_2	
<i>Jose Arimateia – Edson Albuquerque</i>	299
Reuso e Seus obstáculos na Engenharia de Software	
<i>Larissa Soares</i>	304

Coordenação de Veículos Aéreos não Tripulados Utilizando Inteligência de Enxames	308
<i>Luis Felipe Oliveira – Diego Silva – Carmelo Bastos Filho</i>	
Aplicação de Algoritmos de Visão Computacional para UVAs em Missões de Busca	315
<i>Mila Alcoforado – Bruno Torres Fernandes</i>	
Construção de Quadradores para Testes Com Enxames de Robôs	323
<i>Rodrigo Moraes – Sergio Campello</i>	
Sistema De Medição De Energia E Monitoria Da Qualidade Da Rede Elétrica	327
<i>Hugo Santos – J.P.G Oliveira Eliel Cipriano</i>	
Sensor Óptico de Corrosão para Poços de Petróleo	331
<i>Renato Andrade – J.F. Nascimento</i>	
Avaliação de parâmetros operacionais em um gaseificador de biomassa de fluxo concorrente (downdraft ventilado)	336
<i>E. Loreiro – I.A. Garret</i>	
Desenvolvimento de sistema fotobiorreator de microalgas para sequestro de CO₂	342
<i>Vinicius Alencar – A.N. Silva – R.S. Pereira – V.M. Alencar L.S. Castrillo – A. Travassos – S.P. Silva</i>	

Medição de perda e produtividade de argamassa industrializada no serviço de revestimento de fachada

Caetano, A. S.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
alissoncaetanodasilva@hotmail.com

Casado, A. L. L. J.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

A medição do desempenho da execução do revestimento de argamassa de fachada deve merecer especial atenção na construção de edifícios, pois representa parcela expressiva do custo total e condiciona o prazo da obra. Dentro desse contexto, este projeto de pesquisa tem como principal objetivo monitorar o desperdício de argamassa e a produtividade da mão de obra na execução do revestimento de argamassa de fachadas de edifícios.

Abstract

Performance measurement of the coating run mortar shell should deserve special attention in building construction, as it represents a significant portion of the total cost of the term and conditions of the work. Within this context, this research project has as main objective to monitor the waste of mortar and productivity of labor in the execution of mortar lining of building facades.

1 Introdução

Este projeto de iniciação científica faz parte de um projeto de pesquisa que está associado a uma Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da POLI/UPE. O tema inicialmente proposto focaria a “concretagem de estrutura de concreto armado”; porém, adequando ao macro projeto, o foco foi direcionado para o tema de “revestimento de argamassa de fachada” ficando preservados a metodologia e os objetivos.

A medição de desempenho na indústria da construção é uma prática relativamente recente, tendo recebido forte impulso pela implantação e certificação de sistemas de gestão da qualidade pelas empresas construtoras (DURANTE, 2011). As normas NBR ISO 9001:2008 e do Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil (SiAC) do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H) contem exigências específicas relativas à medição de desempenho. Os sistemas de medição de desempenho fornecem informações essenciais para o planejamento e controle dos processos gerenciais e o monitoramento dos objetivos e metas estratégicas da empresa.

2 Material de estudo

Como componente da envoltória do edifício, o revestimento de emboço de fachada tem uma estreita relação com os mais diversos subsistemas da edificação, como, por exemplo, estrutura de concreto armado e alvenaria de vedação. Além disso, o emboço possui funções que o tornam de vital importância para o edifício, não só esteticamente, mais também com relação ao desempenho deste, mais que regularizar a fachada, o emboço veda e protege o edifício, inibindo a penetração de agentes agressivos.

A importância das funções exercidas pelo revestimento de emboço de fachada, bem como a influência que representa nos custos da obra, remetem a necessidade de estudar a mão-de-obra envolvida na execução deste serviço.

Em se tratando do desperdício da argamassa parcialmente ou totalmente produzida fora do canteiro para emboço ou massa única, Agopyan et al. (1998) apresentam os resultados de pesquisa em 04 obras, cujo valor médio foi de 99%; enquanto, o mínimo de desperdício foi de 5% e o máximo atingiu 209%. Percebeu-se uma dispersão muito elevada dos resultados, remetendo a necessidade de estudos mais detalhados para a obtenção de dados condizentes com a realidade de cada situação.

Diante disto, verifica-se a importância do estudo do desperdício de argamassa e da produtividade da mão-de-

obra envolvida na execução do revestimento de argamassa de fachada, já que este serviço envolve a execução de subetapas, constitui funções importantes e custos representativos para a edificação como um todo.

3 Metodologia

Etapa 01 - levantamento bibliográfico: identificando a literatura sobre medição de desempenho; indicadores de consumo, perdas e produtividade; benchmarking, através de consulta: artigos de revistas nacionais e internacionais, normas, sites na internet de institutos de pesquisa e associações de construção. Essa fase foi de grande importância pois aprendi muito sobre o serviço de emboço de fachada, onde existe uma grande relação e importância para a vida útil da construção o revestimento externo desempenha. Outro grande aprendizado que pude ganhar foi conhecer melhor um indicador de produtividade chamado RUP (razão unitária de produção), onde ele é a razão então a quantidade de horas trabalhadas pela quantidade de serviço feito nesse intervalo de tempo. Quanto maior for o valor pior é a produtividade.

Etapa 02: análise de indicadores de desempenho, definição de metodologia de coleta de dados: conhecimento e definição do sistema de medição de desempenho. A metodologia empregada para medir as perdas de argamassa industrializada e a produtividade foi antes discutida em São Paulo, são usadas planilhas bem simples para que qualquer estagiário ou encarregado treinado possa também preencher-las. Nelas colocamos as quantidades de serviço da semana medida em m², as horas trabalhadas de cada pedreiro e servente, o estoque de argamassa presente na obra e o que chegou durante a semana. Assim com esses dados pode-se calcular as RUPs e perdas de argamassa.

Etapa 03 – monitoramento dos indicadores: acompanhamento sistemático dos resultados gerados em 03 obras para a análise, a comparação e a identificação das melhores práticas. Essa é a presente etapa se encontra o projeto de pesquisa. Nela se põem em prática o que foi dito anteriormente. Acabamos de finalizar a primeira obra, partindo para outra.

Etapa 04: identificação e caracterização das melhores práticas: descrição detalhada das melhores práticas (produtos, serviços e métodos de trabalho), com o propósito de melhoria organizacional que conduz à superioridade competitiva.

Etapa 05: diretrizes para a adoção das melhores práticas: estabelecimento das principais ações necessárias que

promovam maiores possibilidades de sucesso na implantação das melhores práticas no serviço de revestimento de argamassa de fachada.

4 Resultados obtidos

Comunidade
da Construção

Empresa:
Obra:
Local de Coleta:
Período de coleta:
Responsável:

PLANILHA 4 - INDICADORES DE CONSUMO E PERDAS ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA (%)

Serviço: Revestimento de Argamassa Externo - Perdas

Espessura da camada de revestimento (cm) = 3,00

Consumo de referência para tom de espessura de revestimento (kg/m²) = 16,60

Material Período	Revestimento de Argamassa - Emboco ou Massa Única					Indicador de Perda (%)
	Consumo de referência (kg/m²)	Quantidade de Serviço realizado (m²)	Consumo teórico (kg)	Consumo real (kg)	Consumo Unitário de Material Real (kg/m²)	
26/07/12 a 02/08/12	49,80	73,97	3.683,71	7.280,00	98,42	97,83
02/08/12 a 09/08/12	49,80	170,94	8.512,81	14.720,00	86,11	72,92
09/08/12 a 16/08/12	49,80	283,20	14.103,36	20.000,00	70,62	41,81
16/08/12 a 23/08/12	49,80	152,68	7.603,46	14.000,00	91,70	84,13

Fig 1. Resultados de perdas

Semanas coletadas (Data)	Emboco ou massa única (m²)			
	QS _{sem} (m)	Hh _{sem} direta	RUP _{sem} direta	RUPC _{sem} direta
26/07/12 a 02/08/12	73,12	63,00	0,86	0,86
02/08/12 a 09/08/12	170,94	133,00	0,78	0,80
09/08/12 a 16/08/12	283,00	176,00	0,62	0,71
16/08/12 a 23/08/12	152,68	86,00	0,58	0,68
Total	679,74	460,00	0,68	0,68

QS_{sem} = Quantidade de serviço de execução de emboco ou massa única

Hh_{sem} = Homem-hora de Pedreiro dispendido no serviço de emboco ou massa única

Fig 2. Resultados de produtividade

Semanas coletadas (Data)	Emboco ou massa única (m²)			
	QS _{sem} (m)	Hh _{sem} direta	RUP _{sem} direta	RUPC _{sem} direta
26/07/12 a 02/08/12	73,12	63,00	0,86	0,86
02/08/12 a 09/08/12	170,94	106,00	0,62	0,69
09/08/12 a 16/08/12	283,00	132,00	0,47	0,57
16/08/12 a 23/08/12	152,68	44,00	0,29	0,51
Total	679,74	345,00	0,51	0,51

QS_{sem} = Quantidade de serviço de execução de emboco ou massa única

Hh_{sem} = Homem-hora de Servente dispendido no serviço de emboco ou massa única

Fig 2. Resultados de produtividade

Nota-se com esta tabela que se chega até termos uma perda de quase 100% ou seja o dobro orçado pela construtora. Por isso é de grande importância ter um monitoramento severo do serviço de argamassa industrializada.

A partir dos resultados obtidos se teve uma idéia de como é grande a perda de argamassa industrializada e o quanto a mão de obra ainda está longe do esperado para uma eficiente produção.

5 Conclusão

Esse estudo foi de grande importância, pois já se sabe que a forma mais certa de controle é o monitoramento e com essa ferramenta apresentada as construtoras terão um grande dispositivo no monitoramento da produtividade e principalmente da perda de um material tão importante que é a argamassa industrializada.

E como foi visto nos resultados ainda esta longe o que é previamente orçado para a obra com a realidade, e estas ferramentas de controle facilitarão demais a possibilidade de saber onde esta a deficiência da produtividade e verificar as perdas e assim combatê-las.

Referências

- [1] AGOPYAN, V.; SOUZA, U.E.L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A.C. Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obra, 1998. Disponível em: <http://habitare.info-hab.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/104.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2009.
- [2] BAÍA, L.L.M.; SABBATINI, F.H. Projeto e execução de revestimento de argamassa. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.
- [3] BARKOKEBAS JUNIOR, B.; LORDSLEEM JR., A.C.; SILVA, B. M. V.; DUARTE, C. M. M. Sistemas de gestão em segurança e saúde do trabalho e de gestão da qualidade na construção civil. Recife: EDUPE, 2009. v. 1. 126 p.
- [4] CAVALCANTI, R.F.V. Uma investigação sobre medidas de desempenho utilizadas pelas empresas de construção civil, subsector edificações, na região metropolitana de Recife. 110p. Dissertação (Mestrado) - Programa multiinstitucional UnB/UFPB/UFPE/URFN. Recife, 2004.
- [5] COSTA, D.B.. Diretrizes para concepção, implementação e uso de sistemas de indicadores de desempenho para empresas de construção civil. 176f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.
- [6] COSTA, D.B. et al. Sistema de indicadores para benchmarking na construção civil: manual de utilização. Porto Alegre: UFRGS/PPGEC/NORIE, 2005.
- [7] DUARTE, C.M. Desenvolvimento de sistema de indicadores para benchmarking em empresas de construção civil. 250 p. Dissertação (Mestrado) -

Universidade de Pernambuco. Recife, 2011.

O USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO AGREGADOS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO

Emília Xavier do Rêgo Barros
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
emiliaxrb@hotmail.com.com

Stela Fucale
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
sfucale@upe.poli.br

Resumo

A construção civil é o setor que mais cresce em nosso país, gerando novos empregos, e, contudo também, uma problemática, os entulhos. Estes, muitas vezes, são depositados irregularmente na malha urbana. Uma forma de evitar tal degradação das áreas e tamanho desperdício de materiais consiste na prática da reciclagem. Este trabalho apresenta um estudo de viabilidade técnica do uso de agregados de resíduos da construção civil (RCC) para a produção de concretos sem função estrutural, de acordo com a NBR 15 116 (ABNT, 2004). O RCC estudado nessa pesquisa foi coletado em uma obra localizada em Recife, Pernambuco, em fase de alvenaria. A metodologia consistiu inicialmente em beneficiamento da amostra de resíduo coletada para transformação em agregado miúdo reciclado. Os ensaios laboratoriais de caracterização física e mecânica (composição gravimétrica, granulometria, teor de materiais pulverulentos, absorção de água, índice de vazios, massa unitária, massa específica, módulo de finura, abatimento, resistência à compressão simples e à compressão diametral) foram realizados de acordo com as normas técnicas da ABNT. A análise da composição gravimétrica da amostra de RCC indicou que 54,9% do material era constituído de tijolos cerâmicos e argamassa, enquanto que 27,64% da amostra era constituída de material miúdo. O ensaio de material pulverulento reafirmou a grande quantidade de material miúdo no RCC, 12,47%, e o ensaio de absorção de água evidenciou a presença dos tijolos cerâmicos, visto que o RCC apresentou uma absorção de 10,01%. Foi adotada uma mesma relação água/cimento para todas as famílias de concreto, convencional, 50% e 100% de substituição de agregado miúdo natural pelo reciclado no estado seco ou úmido. Os ensaios de resistência à compressão axial e diametral realizados nos concretos endurecidos apresentaram resultados melhores para o concreto da família com 100% de substituição do agregado miúdo natural pelo reciclado seco do que o concreto da família convencional. Conclui-se, portanto, que apesar das suas propriedades físicas desfavoráveis para dosagens de concreto, o agregado miúdo reciclado atingiu os critérios exigidos pela NBR 15116 (ABNT, 2004), além do concreto confeccionado com 100% de substituição do agregado miúdo natural pelo reciclado seco apresentar resistência mecânica maior com o aumento dos dias de cura; possibilitando, assim, a utilização de agregados miúdos provenientes de resíduos da construção civil em fase de alvenaria para a produção de concretos sem função estrutural.

1 Introdução

A Indústria da Construção Civil vem crescendo bastante no Brasil, assim como em Recife, sendo responsáveis pela geração de empregos, pela movimentação financeira e pelo crescimento do país. Contudo, surgem diversas problemáticas ao lado deste súbito crescimento, como o aumento da exploração dos recursos naturais do nosso planeta na utilização destes como matéria-prima e a geração de resíduos.

Os resíduos de construção e demolição (RCD), segundo Angulo (2005) representam 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos. Na cidade do Recife, a geração de resíduos provenientes da construção civil alcança um montante superior a 20.000 toneladas/mês (dados atuais da Prefeitura do Recife), e estima-se que gera-se de 2000 a 3000 toneladas/dia de RCC em Recife (Prefeitura do Recife/2012). Havendo, desta forma, uma necessidade de controlar os impactos ambientais gerados pelos entulhos da construção civil. Para Angulo (2000), a reciclagem tem surgido como uma forma de amenizar a ação nociva dos resíduos no ambiente urbano, gerando ainda novos produtos comercializáveis.

A importância do gerenciamento destes resíduos no Brasil é abordada na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 307 do ano de 2002, que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos por meio de diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Na cidade do Recife, existe uma lei, nº 17.072/2005, que cria o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, que proíbe a disposição ilegal dos resíduos, regulamenta o seu transporte e a sua destinação obedecendo ao estabelecido na referida resolução do CONAMA.

Desta forma, essa pesquisa visa a reutilização dos resíduos de uma construção civil coletado na cidade do Recife, de forma a impulsionar a reciclagem e uma possível conscientização ambiental e sustentável; e a utilização destes no próprio canteiro de obras como agregados miúdos na produção de concretos sem função estrutural. Em outras palavras, esta pesquisa tem como objetivo geral o estudo da viabilidade técnica do uso de agregados miúdos reciclados de RCC gerados na fase de alvenaria de uma obra da cidade do Recife, para produção de concreto.

2 Contextualização

Um dos grandes problemas discutidos na atualidade é a geração de resíduos pela indústria da construção civil, segundo Buttler (2003).

Os resíduos podem ser gerados tanto na fase de construção, nos canteiros de obras, quanto nas reformas, manutenções e demolições. Na etapa de construção os resíduos são gerados, em sua grande maioria, pela aplicação de técnicas rudimentares que ocasionam o desperdício de materiais e na incompatibilidade de projetos, enquanto que, as demolições geram grande parte dos resíduos por serem realizadas sem processos racionalizados e sem nenhum tipo de segregação (Gusmão et al, 2008). O gerenciamento destes é de extrema importância, visto que, reduzir as perdas de materiais é extremamente desejável no ponto de vista econômico e ambiental.

2.1 Os impactos da geração de RCC

O grande problema da geração de resíduos é o seu mau gerenciamento, ou na maioria dos casos a ausência deste, e ainda o elevado desperdício de materiais. Destaca-se que, muitas vezes, estes resíduos são despejados irregularmente ou clandestinamente, o que pode gerar problemas de contaminação no solo e na água subterrânea, além disto, a atividade da construção civil consome recursos naturais, que por fim gerará mais resíduos devido ao desperdício em obras de construção civil. A Figura 01 ilustra exemplo de disposição ilegal de RCC.



Figura 01: Disposição ilegal de RCC (Fonte: FREITAS, 2009).

Para Lima (1999), a prática da reciclagem dos resíduos de construção é uma das alternativas para lidar com os impactos que os mesmos causam.

2.2 A reciclagem dos resíduos da construção civil

Apesar de o Brasil dispor de uma grande quantidade de recursos naturais, estes são esgotáveis, e já se pode observar a escassez de algumas matérias-primas em algumas cidades, como Recife, por exemplo, onde a areia utilizada para concreto vem de municípios localizados a mais de 70 km de distância (GUSMÃO et al, 2008).

A reciclagem e/ou reutilização dos resíduos da construção é uma alternativa sustentável para diminuir a exploração do meio ambiente e uma maneira de solucionar os impactos ambientais que os resíduos da construção civil proporcionam, já que os mesmos terão uma finalidade.

Diversas pesquisas tentam viabilizar a reciclagem de entulhos de obras para seu uso como agregado, já que a utilização de agregados reciclados diminui a exploração de recursos naturais, o impacto destes quando são despejados em depósitos inadequados e o custo do seu gerenciamento, transporte e multas por despejo inadequado (RODRIGUES, 2011).

3 Metodologia

3.1 Coleta de amostras

A amostra de RCC investigada nesta pesquisa foi coletada em uma obra de um edifício multifamiliar na região Metropolitana do Recife/PE, que encontrava-se em fase de alvenaria. A obra possuía estrutura de concreto armado, alvenaria de bloco cerâmico e revestimento interno (argamassa, gesso).

3.2 Composição Gravimétrica

É de fundamental importância conhecer a natureza dos resíduos investigados, que servirão como constituintes na confecção do concreto. Desta forma, a finalidade da composição gravimétrica é fornecer esta informação do agregado utilizado, por meio do qual é possível determinar sua natureza a partir de uma separação visual de acordo com o tipo de material constituinte (material miúdo, material cerâmico, argamassa, concreto, misto e outros) e com uma posterior pesagem dos mesmos.

3.3 Benefícios do RCC

Os materiais cerâmicos, a argamassa, o concreto e os materiais mistos (diferentes materiais unidos), constituintes do resíduo bruto, foram separados visualmente e reduzidos de tamanho por meio de britador de mandíbulas.

Juntamente com o material beneficiado pelo britador, o material miúdo do RCC coletado e utilizado nesta pesquisa foi peneirado em uma peneira de abertura 2,36 mm para ser utilizado como agregado miúdo. O peneiramento pela malha de 2,36 mm foi necessário para fins de comparação com o agregado miúdo de RCC da pesquisa de Rodrigues (2011) e também, para ser similar ao agregado miúdo natural (areia) quanto à granulometria. Satisfazendo, dessa forma, a norma NBR 7211 (ABNT, 2005) que considera agregado miúdo todo material que passa pela peneira com abertura de malha 4,75 mm.

3.4. Ensaios laboratoriais

Em laboratório, realizou-se os ensaios de caracterização do RCC (granulometria, absorção de água, teor de materiais pulverulentos, massa específica, massa unitária e volume de vazios) e ensaios de resistência mecânica nos concretos confeccionados, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas: Determinação da composição granulométrica - NBR NM 248/2003; Determinação da absorção de água - NBR NM 30/2003; Determinação do material fino que passa através da peneira de 75 µm, por lavagem - NBR NM 46/2003; Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman - NBR 9976/1987; - Determinação da massa unitária e do volume de vazios - NBR NM 30/2001; Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone - NBR NM 67/1998; Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - NBR 5739/2007; Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos - NBR 7222/1994.

3.4. Dosagem experimental

Como a resistência e a durabilidade do concreto dependem da proporção entre os seus materiais constituintes, foi executado um traço teste para obter um único traço viável para as substituições de 0%, 50% e 100% de agregado miúdo reciclado. O traço teste 1,0:2,0:3,3 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo), com relação água/cimento igual a 0,60; possibilitou observar o comportamento do agregado miúdo na mistura, que mostrou a necessidade da adição de maior conteúdo de água, mudando a relação água/cimento para 0,75; já que usualmente os constituintes de RCC (argamassa, cerâmica, concreto, dentre outros) apresenta maior absorção que agregados naturais.

A execução do traço teste foi essencial para encontrar um traço trabalhável tanto para a substituição de 0%, 50% e 100% do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado de RCC seco ou pré-umedecido. Assim, nesta pesquisa foram aplicados dois traços, já que utiliza-se o RCC seco e pré-umedecido a fim de avaliar o agregado reciclado mediante a relação água/cimento sem e com uma prévia absorção de água. A tabela 01 detalha os traços calculados.

Traço em massa	Número	Traço 1	Traço 2
	1 m 1:a:b	1: 5,3 1: 2,15: 3,15	1: 3,8 1: 1,4: 2,4
Teor de argamassa		0,5	0,5
Relação a/c		0,6	0,6
Consumo de Cimento (kg/m³)		342	425
Relação água materiais secos (A%)		9,5	12,5

Tabela 01: Traços calculados para a produção de concretos.

A partir da execução dos traços e do teor de substituição, 0%, 50% ou 100%, as famílias de concreto foram nomeadas de acordo com a tabela 02.

PRODUÇÃO DO CONCRETO				
Família	Substituição	Traço	T.U.V.	
CREs	0%	Traço 1	1,00 : 2,15 : 3,15 : 0,60	
Ra50	50% RCC úmido	Traço 1	1,00 : 2,15 : 3,15 : 0,60	
Ra50	50% RCC seco	Traço 2	1,00 : 1,40 : 2,40 : 0,60	
Ra100	100% RCC úmido	Traço 1	1,00 : 2,15 : 3,15 : 0,60	
Ra100	100% RCC seco	Traço 2	1,00 : 1,40 : 2,40 : 0,60	

Tabela 02: Esquema da produção de concreto, Traços unitários em volume (T.U.V.)

Foram moldados um total de 60 CP's de dimensões 10 x 20 cm, conforme a norma NBR 5738 (ABNT, 2008), 12 para cada família, sendo 02 para o ensaio de resistência à compressão axial e 01 para o ensaio de resistência diametral, cujas idades de cura consideradas fora 3,7,14 e 28 dias.

4 Resultados

4.1 Composição Gravimétrica

A pesagem dos constituintes do RCC coletado possibilitou a suas respectivas porcentagens em massa, que podem ser verificadas na figura 02.

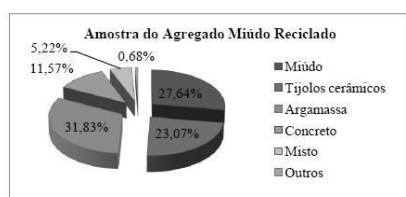


Figura 02: Composição Gravimétrica do RCC coletado.

Observa-se a predominância de três constituintes, material miúdo (27,64%), tijolos cerâmicos (23,07%) e argamassa (31,83%), que juntos predominam 82,54% do RCC coletado, evidenciando materiais típicos que são gerados em obra de construção civil em fase de alvenaria.

4.2 Granulometria

A realização do ensaio permitiu a construção da curva granulométrica do RCC (Figura 03), que foi comparada com os limites da distribuição granulométrica de agregado miúdo para concreto, impostos pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

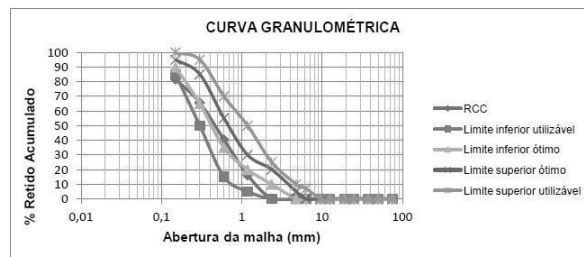


Figura 03: Curvas granulométricas do agregado miúdo reciclado (RCC) e os respectivos limites estabelecidos na NBR 7211 (ABNT, 2009) aplicada a agregados para concreto.

Analisando as curvas, pode-se perceber que o RCC está entre os limites utilizáveis estabelecidos pela referida Norma, ultrapassando somente, um pouco o limite inferior utilizável.

4.3 Teor de materiais pulverulentos

O agregado miúdo reciclado apresentou um teor de material pulverulento de 12,47%, estando dentro do limite estabelecido pela norma de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil (ABNT NBR 15116/2004), não ultrapassando 20%, e não satisfazendo o limite estabelecido pela norma de agregados para concreto (ABNT NBR 7211/2009), que estabelece que o teor de material pulverulento devem ser de 3% para concreto submetido ao desgaste superficial e 5% para concretos protegidos do desgaste superficial.

4.4 Absorção de água

Segundo Lima (1999), uma das características que mais difere o agregado reciclado do natural (convencional) é na absorção de água. Por isto, a absorção de água dos agregados reciclados é muito importante quando se estuda o seu uso em concreto, visto que, a taxa de absorção dos agregados interfere diretamente na relação água/cimento do traço, conforme Leite (2001).

Após 24h imerso em água, o agregado miúdo reciclado (RCC) apresentou absorção de água igual a 10,0%, enquanto que o agregado miúdo natural apresentou absorção de água igual a 0,2%. Esta elevada absorção do RCC também foi encontrado em outros estudos. Rodrigues (2011) encontrou 10,28% de absorção de água, enquanto Lovato (2007) encontrou valores para cada resíduo estudado, variando entre 6% a 11,7%.

4.5 Massa específica, massa unitária e volume de vazios

A tabela 03 sintetiza os resultados encontrados na realização dos ensaios.

Ensaios Realizados	Resultados obtidos
Massa Específica (g/cm³) (NBR NM 52/2009)	2,48
Massa Unit. Agregado Solto (kg/dm³) (NBR NM 45/2006)	1,29
Massa Unit. Agregado (SSS) (kg/dm³) (NBR NM 45/2006)	1,42
Volume de Vazios (%) (NBR NM 45/2006)	58,80

Tabela 03: Resultados de massa específica, massa unitária e volume de vazios do agregado miúdo reciclado (RCC).

De acordo com Lima (1999), pelo fato de os resíduos da construção serem compostos de materiais porosos, os agregados reciclados provenientes deles apresentam, na maioria das vezes, massas específicas e unitárias menores que os agregados naturais. Tal fato aconteceu nesta pesquisa, na de Angulo (1998), Carneiro (2005), Lovato (2007) e Rodrigues (2011).

Outro índice que indica a grande porosidade do agregado miúdo reciclado é o volume de vazios, que representa mais da metade, exatamente 58,8%, do espaço entre os grãos da massa de agregado. O que pode ter ocasionado a presença de vazios nos corpos-de-prova com 100% de substituição do agregado miúdo natural pelo reciclado.

4.6 Abatimento

Nesta pesquisa não houve a fixação do abatimento a fim de analisar o comportamento do agregado reciclado seco e com pré-umedecimento na mistura do traço. A tabela 04 apresenta os resultados do abatimento de tronco de cone, também chamado de teste Slump, realizado durante a fase de dosagem de cada família de concreto produzida.

Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone		
Família	Substituição	Abatimento (Slump)
CRE _s	0%	210 mm
R _{s50}	50% RCC úmido	80 mm
R _{s50}	50% RCC seco	185 mm
R _{s100}	100% RCC úmido	15 mm
R _{s100}	100% RCC seco	40 mm

Tabela 04: Abatimento das famílias dos concretos produzidos.

Os concretos com 0% de agregado miúdo reciclado apresentaram o maior valor de abatimento, 210 mm, enquanto que os concretos com 100% de agregado miúdo apresentaram os menores valores, com abatimento de 40 mm.

4.7 Resistência à Compressão Axial

Este ensaio foi realizado em todas as famílias de concreto confeccionadas, nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias, cujos resultados são apresentados na tabela 05.

Idade	Resistência à Compressão Simples (MPa)				
	CRE _s	R _{s50}	R _{s50}	R _{s100}	R _{s100}
3 dias	10,0	7,4	9,1	6,0	12,8
7 dias	12,3	11,4	13,1	10,6	19,3
14 dias	16,4	14,0	16,9	12,4	21,0
28 dias	17,7	16,7	19,6	15,3	23,6

Tabela 05: Maiores resultados, dos pares de CP's ensaiados por família, de Resistência à Compressão Axial.

Todas as famílias obtiveram uma resistência à compressão crescente com os dias de cura. A família Rs100, com 100% de substituição de RCC sem seco, obteve resultados maiores que o concreto convencional (CREs) desde a primeira idade até a última. Os concretos sem prévia adição de água demonstrou melhoria de resistência com o acréscimo do teor de agregado reciclado. Já os concretos confeccionados com agregados miúdos reciclados com pré-umedecimento não obtiveram resultados melhores que o convencional e que os confeccionados com agregado miúdo reciclado seco. A explicação para isto pode ser que a água adicional do pré-umedecimento aumentou a relação água/cimento, o que acarretou em uma baixa resistência.

4.8 Resistência à compressão Diametral

Este ensaio também foi realizado em todas as famílias de concreto confeccionadas, nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias, os resultados são apresentados na tabela 06.

Idade	Resistência à Compressão Diametral (kgf)				
	CRE _s	R _{s50}	R _{s50}	R _{s100}	R _{s100}
3 dias	4207	3050	2755	3586	5247
7 dias	5232	3931	4815	4398	7041
14 dias	7319	6044	6620	5206	8646
28 dias	3297	7371	6418	5886	8605

Tabela 06: Resultados dos ensaios de Resistência à Compressão Diametral.

De 03 dias a 28 dias de idade, a família Ru50 apresentou um aumento de 141,67% em sua resistência, enquanto a Rs50 apresentou um aumento de 132,96%. Já a família Ru100 o aumento foi de 64,14% e a Rs100 de 64%. Apesar do pequeno decréscimo da família Rs100 na resistência das idades 14 e 28 dias, a mesma apresentou o maior resultado, com uma resistência à tração igual a 8646 kgf em 14 dias de cura, com uma variação de resistência igual a 1,18 em relação ao concreto de referência (CREs) aos 14 dias. Logo, pode-se afirmar que, o aumento do teor de agregado reciclado de RCC acarretou em um aumento no parâmetro de resistência à compressão diametral, para o caso da família sem prévio umedecimento.

No último dia de cura (28 dias), o concreto convencional (CREs) apresentou resistência diametral inferior ao seu primeiro dia de cura (3 dias) porque houve um problema na prensa do ensaio que não direcionou a força, o que acarretou nessa baixa resistência. Porém, com exceção do Rs100, o concreto convencional foi superior a todos os

outros nesta análise do parâmetro de resistência à compressão diametral.

5 Considerações Finais

Embora os agregados miúdos reciclados provenientes de RCC serem mais heterogêneos que o agregado miúdo natural e terem apresentado maior absorção, propriedades características importantes para a utilização em dosagens de concreto, esta pesquisa apresentou a viabilidade da sua utilização na confecção de concretos sem função estrutural. Visto que, o concreto produzido 100% com agregado miúdo reciclado seco apresentou uma resistência à compressão axial, 33,3%, e uma resistência à compressão diametral, 18,1%, maiores que o concreto convencional. O concreto produzido 50% com agregado miúdo reciclado seco apresentou uma resistência à compressão axial superior 10,7% e uma resistência à compressão diametral inferior 9,55% do concreto convencional. Os concretos produzidos com agregado miúdo reciclado previamente umedecido apresentaram resultados inferiores ao convencional, mas não tão distintos; o com 50% de substituição foi inferior 5,64% em sua resistência à compressão axial e 17,4% em sua resistência à compressão diametral, enquanto o com 100% de substituição apresentou uma resistência à compressão axial inferior 13,5% e uma resistência à compressão diametral inferior 28,9%.

Portanto, esse estudo apresenta uma possibilidade de aproveitamento do Resíduo da Construção Civil (RCC), diminuindo assim a quantidade de resíduos despejados em locais inapropriados, e encontrando uma alternativa sustentável para a diminuição da exploração de recursos naturais pela indústria da construção civil.

Referências

- [1] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.116, Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.
- [2] _____. NBR NM 248, Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- [3] _____. NBR NM 46, Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira de 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.
- [4] _____. NBR NM 45, Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- [5] _____. NBR NM 30, Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.
- [6] _____. NBR 9775, Agregados – Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos por meio do Frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.
- [7] _____. NBR NM 67, Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- [8] _____. NBR 7222, Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.
- [9] _____. NBR 5739, Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- [10] _____. NBR 7211, Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.
- [11] _____. NBR 5738, Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.
- [12] Angulo, S.C. Variabilidade de Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- [13] Angulo, S.C. Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de suas Características no Comportamento de Concretos. Dissertação de Doutorado – Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- [14] Buttler, A.M. Concreto com Agregados Graúdos Reciclados de Concreto – Influência da Idade de Reciclagem nas Propriedades dos Agregados e Concretos Reciclados. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- [15] Carneiro, F.P. Diagnósticos e Ações da Atual Situação dos Resíduos de Construção e Demolição na Cidade do Recife. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.
- [16] CONAMA - Conselho Nacional De Meio Ambiente. Resolução nº 307. Brasília, 2002.
- [17] Freitas, I.M. Os Resíduos de Construção Civil no Município de Araraquara/SP. Dissertação de Mestrado – Centro Universitário de Araraquara, UNIARA, Araraquara, 2009.
- [18] Gusmão, A.D. Manual de Gestão dos Resíduos da

Construção Civil. Camaragibe, PE, Gráfica Editora, 2008.

- [19] Leite, M.B. Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição. Dissertação de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- [20] Lima, J.A.R. Proposição de Diretrizes para Produção e Normalização de Resíduo de Construção Reciclado e de suas Aplicações em Argamassas e Concretos. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- [21] Lovato, P.S. Verificação dos Parâmetros de Controle de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição para Utilização em Concreto. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- [22] Prefeitura do Recife. Lei nº 17072. Recife, 2005.
- [23] Prefeitura do Recife. Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana – EMLURB, Projetos e Ações, Coleta de Resíduos da Construção Civil. Disponível em: <http://www.recife.pe.gov.br/pr/servicospublicos/emlurb/civil.php>
- [24] Rodrigues, C.R. de S. Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregado Miúdo Reciclado de Resíduo da Construção Civil. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2011.

Fatores de Redução de resistência de geossintéticos devido a danos mecânicos causados por Resíduos de Construção e Demolição Reciclados RCD-R

Barbosa, F. A. S.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
felipebarbosa_@hotmail.com

Santos, E. C. G.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo *O uso de materiais alternativos na Engenharia Civil surge como uma interessante proposta, uma vez que ela proporciona vantagens econômico-ambientais. Diante disso, este trabalho buscou analisar as características físicas e mecânicas, com enfoque geotécnico, dos resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R). Com o intuito de investigar a utilização desses resíduos como material para aterro em estruturas de solo reforçado (ESR) com geossintéticos, foram avaliados os danos mecânicos gerados em amostras de geossintéticos submetidas a compactação de uma camada de 200mm de RCD-R. Os resultados dos ensaios de caracterização física e mecânica dos RCD-R revelaram uma baixa variabilidade dos seus parâmetros geotécnicos. Observou-se os tipos e quantidades de danos decorrentes do processo de lançamento do RCD-R sobre as amostras de geogrelha foram influenciados pelo tipo de geossintético e altura de lançamento.*

Abstract *The use of alternative materials in Civil Engineering appears as an interesting option once it brings economical and environmental advantages. Based on that, this study carried out the physical and mechanical geotechnical characterization of recycled construction and demolition waste (RCDW). In order to investigate the use of this residues as backfill material in geosynthetic reinforced soil structures, it was evaluated the mechanical damages in geosynthetic specimens caused by compaction of a 200mm thickness layer of RCDW. The results revealed that RCDW physical and mechanical properties have a low coefficient of variation. It was observed that types and amount of damages caused by RCDW displacement on geosynthetics specimens were affected by geosynthetics types and displacement height.*

1 Introdução

A adoção de métodos que contemplem a sustentabilidade vem se tornando, cada vez mais, uma das principais necessidades do mundo moderno. Viver de forma ambientalmente correta deixou de ser opção e passou a ser uma exigência de toda a sociedade.

Dentre os vários setores da economia, a Indústria da Construção Civil (ICC) destaca-se pela elevada geração de resíduos. Segundo Pinto (1990), os resíduos gerados pela ICC representam algo em torno de 40% a 70% do resíduo sólido urbano (RSU) das grandes cidades.

Isso faz com que a ICC enfrente hoje um grande desafio: ser motor de crescimento e de geração de investimentos e, ao mesmo tempo, adotar os conceitos de desenvolvimento sustentável em seus processos construtivos.

Atento a esse problema, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou, em julho 2002, a resolução nº 307, que obriga os geradores dos resíduos e prefeituras a tomarem medidas para a diminuição, a reciclagem e a disposição adequada dos resíduos de construção e demolição (RCD). Segundo Gusmão (2008), cerca de 91% desse resíduos tem potencial reciclável sob forma de agregado.

Dentre as propostas de aplicações dos resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R), destaca-se a alternativa de utilização em obras geotécnicas, uma vez que elas demandam uma grande quantidade de material e exigências de comportamento mecânico, usualmente atendidas por esses resíduos.

Nesse contexto, esta pesquisa teve como finalidade avaliar as características físicas e mecânicas de RCD-R e investigar o potencial da sua utilização como material para aterro em estruturas de solo reforçado (ESR) com geossintéticos. Diante da proposta do uso de RCD-R em ESR, foram analisados os danos provocados em geossintéticos durante o processo de instalação e compactação de camadas desses resíduos.

De acordo com Santos (2007, 2011), a utilização de RCD-R para aterros em estrutura de solo reforçado (ESR) com utilização de geossintéticos mostra-se como uma alternativa perfeitamente viável.

2 Objetivo

Dentre os vários objetivos desta pesquisa, pode-se destacar:

- caracterização geotécnica dos RCD-R;
- análise dos danos provocados em geossintéticos durante o processo de instalação e compactação de camadas de RCD-R;
- sugerir medidas que possam minimizar eventuais danos gerados pelos RCD-R em geossintéticos.

3 Programa Experimental

1.1 Materiais Utilizados

3.1.1 RCD-R

O RCD-R utilizado nesta pesquisa foi coletado na Usina de Reciclagem Ciclo Ambiental Ltda. Ressalta-se o fato desta usina de reciclagem, localizada no município de Camaragibe-PE, ser a única da região metropolitana do Recife-PE.

O RCD-R coletado é denominado, segundo a empresa, como 'refugo' e é composto predominantemente por solo e pequenas partículas de matérias cimentícios e cerâmicos. Tal material é vendido como material de aterro.

Ao todo foram coletadas e analisadas 6 amostras de RCD-R. A Tabela 1 apresenta o plano de coleta da pesquisa.

Tabela 1. Plano de coleta da pesquisa.

Número da amostra	Data da coleta	Quantidade (kg)
01	06.01.2012	125
02	18.01.2012	131
03	01.02.2012	104
04	16.02.2012	93
05	01.03.2012	105
06	16.08.2012	60

Observou-se durante as coletas que o RCD-R apresentava uma grande heterogeneidade visual. Apesar desta percepção, as coletas foram realizadas com o cuidado de tentar representar ao máximo o RCD-R encontrado em campo. Dessa forma, os pontos de coleta se distribuíram ao longo da altura da pilha de estocagem.

3.1.2 Geossintético

Segundo a NBR 12553, os geossintéticos podem ser definidos como "[...] produtos poliméricos (sintéticos ou naturais), industrializados, desenvolvidos para utilização

em obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais funções, dentre as quais destacam-se: reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, impermeabilização e controle de erosão superficial”. A Figura 1 apresenta algumas amostras de geossintéticos.

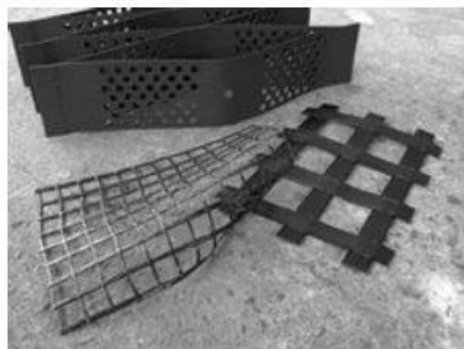


Figura 1. Amostras de geossintéticos

Nesta pesquisa, os geossintéticos utilizados foram geogrelhas de polipropileno (PP) e poliéster (PET), as quais possuem a função predominante de reforço, uma vez que suas aberturas permitem a interação com o meio em que estejam confinadas.

O material utilizado foi fornecido pela empresa Huesker Ltda, e, de acordos com a referência do fabricante, são denominadas de Fortrac 35/20-20 T, e Fornit 20 (15/24-15 T).

3.2 Métodos Empregados

3.2.1 Caracterização do RCD-R

Como esta pesquisa trata-se de uma proposta de aplicação de RCD-R em uma obra geotécnica, as amostras foram submetidas a ensaios de caracterização de solos. Para isso, foram consultados os procedimentos prescritos nas seguintes normas:

- NBR 6457/86 - Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização;
- NBR 7181/84 – Solo – Análise granulométrica;
- NBR 6508/84 – Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica;
- NBR 7182/86 – Solo – Ensaio de compactação;

- NBR 9895/87 – Solo – Índice de suporte Califórnia.

Nas realizações dos ensaios de compactação e de CBR foi empregada a energia de Proctor Normal. Os ensaios de compactação foram realizados com reuso de material.

3.2.2 Ensaios em campo

A caracterização das amostras de 1 a 5, revelou que o RCD-R apresenta granulométrica com predominância de argila(??) ou areia (??) e pedregulho. Observou-se a presença marcante de partículas de concreto, argamassa e cerâmica vermelha.

Isso fez com que se tornasse interessante a análise dos danos nos geossintéticos provocados por lançamento de RCD-R a partir de diferentes alturas de queda do RCD-R. Vale ressaltar que, segundo Sieira (2003), durante o processo de instalação, o geossintético pode sofrer danos de instalação provocados por diversas razões, dentre elas por lançamento de agregados pontiagudos.

Para a realização dos ensaios em campo, foram adotados os 3 cenários de lançamento do RCD-R apresentados na Tabela 3. As Figuras 2, 3 e 4 apresentam imagens dos processos de lançamento do RCD-R.

Tabela 2. Cenários de lançamento do RCD-R.

Cenário	Altura de queda (m)
01	N.A.
02	1,00
03	2,00



Figura 2. 1º cenário – sem altura de queda



Figura 3. 2º cenário – altura de queda de 1m



Figura 4. 3º cenário- altura de queda de 2m

Para realização de tais ensaios foram confeccionadas 2 caixas de madeiras. Essas caixas tiveram a finalidade de controlar o material de aterro utilizado, evitando misturar o RCD-R em estudo com o solo natural da área. A compactação do RCD-R foi realizada utilizando compactador tipo “sapo”.

Durante o processo de instalação, os geossintéticos foram posicionados, sem espaçamento entre si, e de maneira alternada, tomando como referencia o centro da caixa, além disso, os geossintéticos foram identificados de acordo com a altura de queda sofrida do RCD-R e a sua posição na caixa. Deste modo tenta-se evitar alguma possível indução de resultados, pois durante o processo de lançamento do RCD-R não se pode garantir que o material cairá igualmente em todas as amostras.

3.2.3 Ensaio para determinação dos danos geossintéticos

O método mais usual para obtenção dos danos em geossintéticos é a utilização de fatores de redução de resistência.

Este método consiste em comparar os resultados de resistência à tração de amostras virgens com os resultados obtidos de amostras danificadas. Para isso são realizados ensaios de tração não confinada, segundo a NBR 12824 (Figura 5).



Figura 5. Ensaio de resistência à tração de geogrelha. SANTOS 2011

Porém, devido à falta de laboratório e equipamentos específicos para realização de tal ensaio adotou-se a realização das análises dos danos dos geossintéticos de forma visual, seguindo critério propostos por Biling et al. (1990 apud SIEIRA, 2003).

Esse critério se baseia no tipo de lesão provocada pelo dano mecânico. A Tabela 4 apresenta as classificações propostas por Biling et al. (1990) para geogrelhas.

Tabela 3 – Classificação das lesões em Geossintéticos: Geogrelhas

Talho	Corte longitudinal no elemento (transversal ou longitudinal)
Corte	Ruptura completa do elemento
Incisão	Corte transversal parcial do elemento
Contusão	Amasso ou distorção dos elementos
Desgaste	Área de severa abrasão

Apesar de útil, segundo seus autores, este critério não apresenta correlação entre a frequência de danos e a perda de resistência.

As análise dos danos, foram realizadas levando em consideração apenas uma área de 20cm x 20cm, na parte central de cada amostra.

4 Resultados Obtidos

4.1 RCD-R

4.1.1 Ensaio para determinação dos danos geossintéticos

De forma geral, as curvas granulométricas dos RCD-R apresentaram baixa variabilidade, com apenas a curva da amostra 02 diferenciando-se das demais.

Pode-se perceber, através da análise das curvas granulométricas (Figura 7), que as amostras apresentaram um alto teor de areia e pedregulhos e uma baixa porcentagem de solo fino (argilas e siltes).

Amost. 01 - quadrado preto Amost. 02 - quadrado branco
Amost. 03 - triângulo preto Amost. 04 - bola azul
Amost. 05 - triângulo branco Amost. 06 - quadrado azul escuro

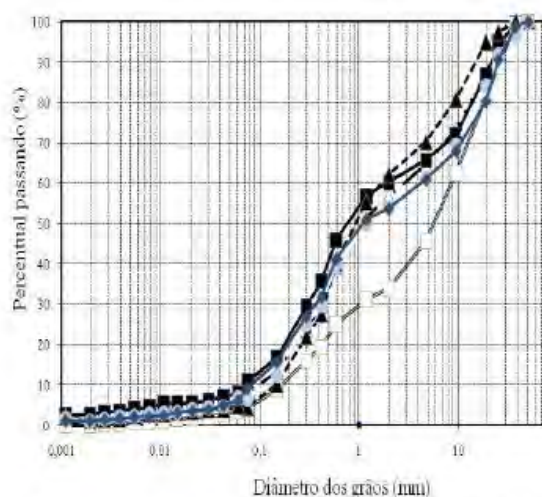


Figura 6. Curvas granulométricas do RCD-R

4.1.2 Índices de Consistência

Foi verificado que os RCD-R analisados possuem características não plástica. Isso pode ser facilmente explicado pela análise granulométrica, pois o RCD-R apresentou um percentual de solo fino muito baixo.

4.1.3 Massa Específica do RCD-R material passante na #4,8mm

Os resultados dos ensaios de massa específica - realizados com o material passante na peneira de #4,8 mm - estão apresentados na Tabela 6. Os resultados obtidos mostraram-se bastante satisfatório, possuindo um desvio padrão e um coeficiente de variação muito pequeno.

Tabela 4. Resultados dos ensaios de massa específica #4,8mm

Amostra	Massa Específica (g/cm³)
1	2,649
2	2,635
3	2,664
4	2,652
5	2,672
6	2,701
Média	2,662
Desv. Padrão	0,022
Coef. de var.	0,85%

4.1.4 Compactação

Os resultados dos ensaios de compactação são apresentados na Figura 6 e na Tabela 5. Observa-se que os valores de massa específica seca máxima e de umidade ótima apresentaram uma baixa variabilidade.

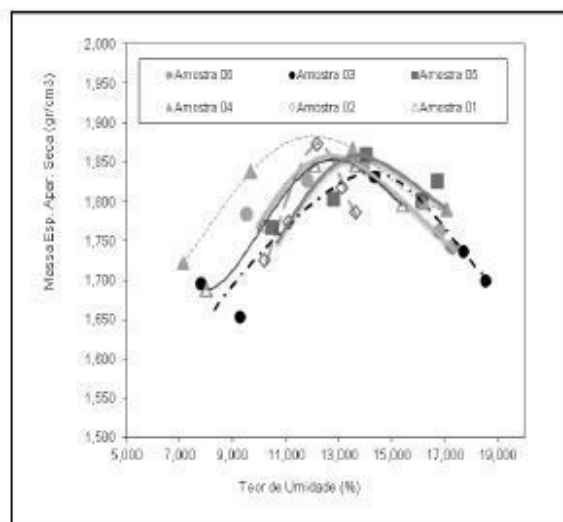


Figura 7. Curvas de compactação do RCD-R - ajeitar

Tabela 5. Resultados dos ensaios de compactação.

Amostra	Dens. Seca Max.(g/cm ³)	Umidade Ótima (%)
1	1,85	13
2	1,87	12,5
3	1,83	14,5
4	1,88	12,5
5	1,86	14
6	1,85	14
Média	1,857	13,417
Desv. Padrão	0,017	0,861
Coef. de var.	0,94%	6,42%

4.1.5 Índice de Suporte de Califórnia – CBR

Apesar das variações com relação ao ISC, as amostras apresentaram um bom padrão em relação a expansibilidade, com características pouquíssimo expansivas, ou até mesmo, apresentando pequenos recalques. A Tabela 7 apresenta resultados obtidos nos ensaios de CBR, exceto a amostra 06.

Tabela 6. Resultados dos ensaios de CBR.

Amostra	Expansão média (em mm)	ISC (%)
1	5,00	25,0%
2	-5,00	48,5%
3	5,00	40,0%
4	10,00	18,0%
5	0,00	39,0%
Média	3	34,1%
Desv. Padrão	5,700	0,123
Coef. de var.	190,03%	36,16%

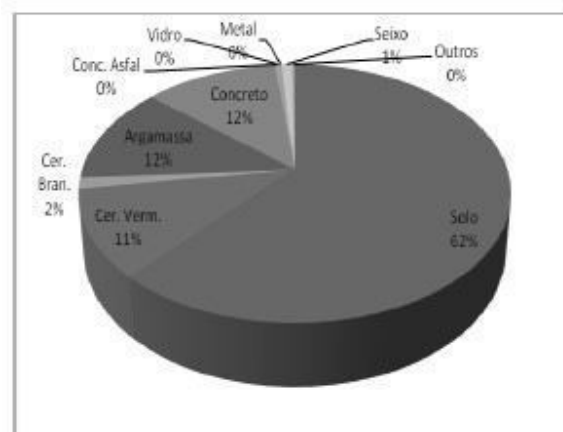
As Amostras 01 e 04 apresentaram valores de CBR muito fora do padrão em relação as demais amostras. O motivo de tais divergências pode ser a falta/presença de pedregulhos imediatamente abaixo do local de penetração do pistão do ensaio.

4.1.6 Composição Gravimétrica

Todas as amostras de RCD-R coletadas passaram por um simples processo para obtenção de sua composição gravimétrica.

A análise da composição gravimétrica mostrou que todas as amostras de RCD-R apresentaram uma predominância de solo, com percentuais entre 50% e 70% da massa total da amostras sendo composta por esse material. Nesta pesquisa, adotou-se a classificação de 'solo' para toda a porção de RCD-R passante na # 4,8 mm. Esse resultado revela que, apesar de termos um material heterogêneo, ele apresenta características que viabilizam sua utilização como material para aterro.

Foi verificado também que a participação de outros materiais (vidro, metal, concreto asfáltico, seixo, madeira, gesso, conchas, etc.) representaram valores abaixo de 1% da massa total de cada amostra. As Figuras de 8a 13 apresentam a composição gravimétrica das amostras.

**Fig 8. Comp. gravimétrica da amostra 1**

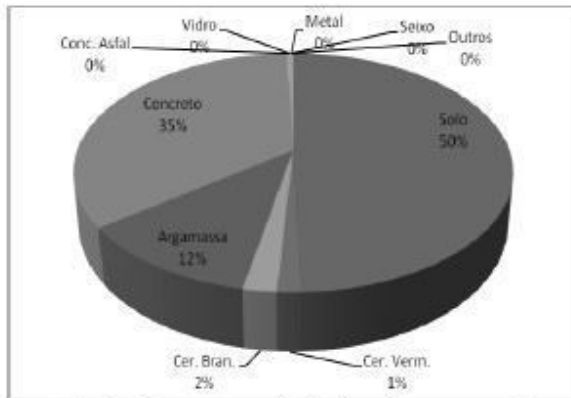


Fig 9. Comp. gravimétrica da amostra 2

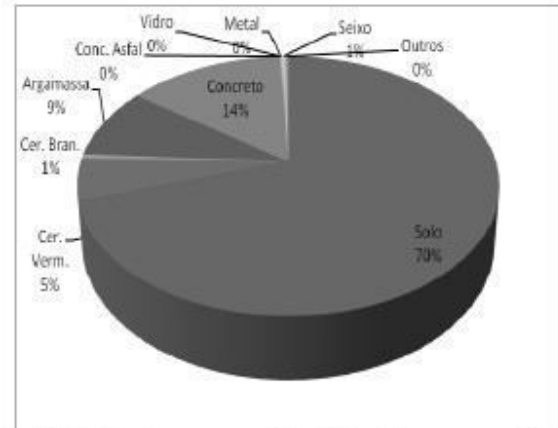


Fig 12. Comp. gravimétrica da amostra 5

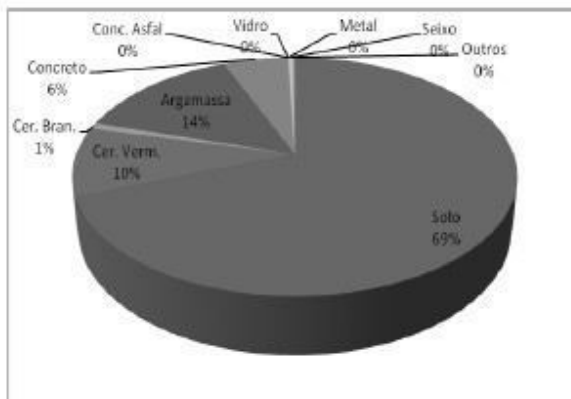


Fig 10. Comp. gravimétrica da amostra 3

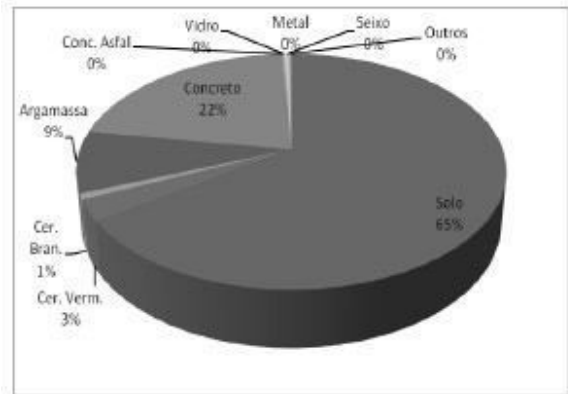


Fig 13. Comp. gravimétrica da amostra 6

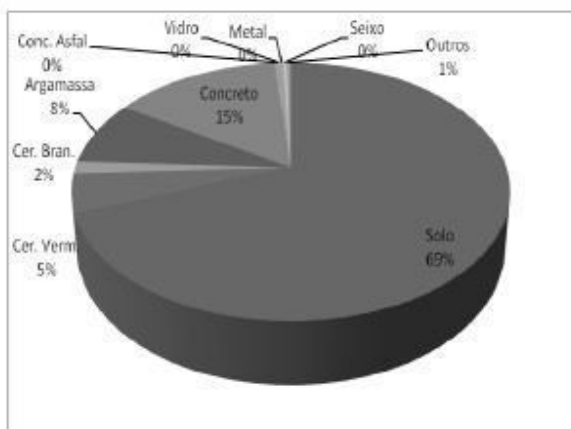


Fig 11. Comp. gravimétrica da amostra 4

4.2 Geossintéticos

Após análise visual dos danos nos geossintéticos, pode-se dizer que, na maioria dos casos, a quantidade de lesões cresceu com o aumento da altura de queda, assim como a gravidade das lesões encontradas. As Tabelas 8, 9 e 10 mostram o número de lesões encontradas nas 5 (cinco) amostras de cada tipo de geossintético ensaiados, considerando-se cada um dos 3 (três) cenários de altura de lançamento do RCD-R.

Tabela 8 – Número de lesões encontradas nos geossintéticos para o cenário 01 (sem altura de lançamento).

Lesão	Fortrac	Fornit
Talho	-	-
Corte	-	-
Incisão	-	-
Contusão	7	5
Desgaste	-	2

Tabela 9 – Número de lesões encontradas nos geossintéticos para o cenário 02 (altura de lançamento de 1m).

Lesão	Fortrac	Fornit
Talho	-	-
Corte	-	-
Incisão	-	-
Contusão	20	18
Desgaste	-	-

Tabela 10 – Número de lesões encontradas nos geossintéticos para o cenário 03 (altura de lançamento de 2m).

Lesão	Fortrac	Fornit
Talho	-	-
Corte	-	-
Incisão	-	-
Contusão	11	25
Desgaste	7	3

Não constatou-se a ocorrência de lesões relacionadas com rompimento (talho, corte ou incisão) de membros transversais e longitudinais das geogrelhas.

Apesar de útil, esse critério de avaliação fornece resultados sem muita precisão, pois como é um método visual e também não possui norma regulamentadora, essa análise fica muito propícia à falhas e deve ser considerado como uma análise preliminar dos danos causados aos geossintéticos.

As análises revelaram ainda que, mesmo considerando a mesma altura de lançamento do RCD-R, existiram diferenças entre os tipos e quantidades de lesões nos geossintéticos ensaiados. Tal resultado indica a necessidade de mais estudos sobre esse tema, o que permitiria a realização de análises estatísticas a fim de estabelecer melhores relações entre os fatores que podem influenciar a ocorrência de danos em geossintéticos.

5 Conclusão

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- o RCD-R estudado apresentou baixa variação nos ensaios de caracterização, mesmo considerando um longo período de coleta das amostras (mais de

7 meses). Isso indica um processo padronizado de beneficiamento realizado pela usina recicladora;

- o RCD-R ensaiado pode ser classificado como um material graúdo, com predominância de areia e pedregulho, e sem plasticidade, ideal para ser utilizado em obras geotécnicas;
- os geossintéticos em estudo apresentaram danos mecânicos em função do tipo de geossintético e da altura de queda. Observou-se apenas a ocorrência de contusões e desgastes. Vale ressaltar que as amostras danificadas pelo processo de lançamento do RCD-R serão preservadas temporariamente e submetidas a ensaios de tração no Laboratório de Geossintéticos da EESC-USP. Após a realização desses ensaios, serão obtidas conclusões mais precisas sobre a influência dos danos observados na resistência de cada tipo de geossintético.

Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 19p. Rio de Janeiro, 1986.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. 8p. Rio de Janeiro, 1984.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. 13p. Rio de Janeiro, 1984.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. 10p. Rio de Janeiro, 1986.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT **NBR 9895**: Solo – Índice de suporte Califórnia. 14p. Rio de Janeiro, 1987.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12553**: Geossintéticos - Terminologia. 3p. Rio de Janeiro, 2003.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12824**: Geossintéticos: Determinação da Resistência à Tração Não-confinada – Ensaio de Tração de Faixa Larga. Rio de

Janeiro, 1993.

- [8] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307**. Brasília, 2002.
- [9] GUSMÃO, A.D. (2008). **Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil**. Gráfica Editora, Camaragibe, PE, 140p.
- [10] PINTO, T.P. (1990). **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP 189p.
- [11] SANTOS, E.C.G. (2011). **Avaliação Experimental de Muros Reforçados Executados com Resíduos de Construção e Demolição Recicladados (RCD-R) e Solo Fino**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 214 p.
- [12] SIERIRA, A.C.C.F. (2003). **Estudo Experimental dos Mecanismos de Interação Solo-Geogralha**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ 363p.

Gerenciamento de risco de enchente: o caso Palmares

Amorim, G. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
giliane_amorim@hotmail.com

Silva, S. R.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
simonerosa@poli.br

Resumo

Os acontecimentos recorrentes de enchentes na área do município de Palmares, principalmente os de maiores intensidades no ano de 2010, causaram sérios prejuízos à população. Diante desta realidade este trabalho visa levantar subsídios para análise e descrição das interações entre aspectos geofísicos e fatores urbanos, considerando que os desastres ambientais não se resumem a ação da natureza. Ações humanas de ocupação desordenada e degradação do meio ambiente estão também relacionadas a tais desastres. Desta forma, estudar as áreas de risco não é apenas estimar a ocorrência de eventos, no caso as inundações, mas é aliar tal estudo a um conjunto de recomendações que possam contribuir socialmente, para minimizar danos futuros.

Abstract

The events of recurring floods in the city of Palmares, mainly the ones with higher intensities in 2010, caused serious damages to the population. Given this reality, this work aims to raise subsidies for description and analysis of the interactions between urban aspects and geophysical factors, considering that environmental disasters do not summarize the action of nature. Human actions of disorderly occupation and environmental degradation are also related to such disasters. So, study the areas of risk is not only to estimate the occurrence of events, in case the floods, but to combine this study with a set of recommendations that can contribute socially to minimize future damages.

1 Introdução

A história do estado de Pernambuco tem sido marcada ao longo dos anos por grandes cheias na zona da Mata e na Região Metropolitana do Recife - RMR. Uma das maiores enchentes foi registrada em 1975, quando o rio Capibaribe transbordou atingindo as principais cidades da RMR. No entanto, em junho de 2010, o estado sofre mais uma vez com uma inundação de grandes proporções. O município de Palmares, localizado na mata sul do estado, distando 120,5 km da capital pernambucana, foi um dos mais afetados com o aumento do nível do rio Una que devido a chuvas intensas, atingiu um total de 67 cidades. Desse total, 41 ficaram em situação de emergência ou calamidade pública, vitimou 20 mortos, 26.966 desabrigados e 55.643 desalojados (NASCIMENTO, 2010) No entanto, essa não foi a única cheia que ocorreu nessa região, dados históricos revelam que nos anos de 1973, 1975, 1988, 2000 e 2005 também foram registrados grandes índices de vazões médias diárias, fato que acusa a vulnerabilidade da área, apontando a necessidade de ações que tratem o problema de forma eficaz e definitiva.

Pode-se observar que o processo de expansão urbana no município ocasionou a ocupação não planejada do espaço em áreas não propícias à habitação, suscetíveis às inundações, nas quais têm essa vulnerabilidade intensificada no período chuvoso. Cenários como estes, promoveram a perda da mata ciliar, o lançamento de lixo e detritos, entre outras práticas inadequadas, que aumentam a ocorrência desses riscos. Contudo, apesar de várias ocorrências e prejuízos nessa região só após o grande desastre em 2010 foram tomadas medidas eficazes para evitar tais riscos de enchentes. Atualmente vários trabalhos de pesquisa também estão sendo elaborados para dar subsídio de informações para elaboração de obras com barragens e sistemas de monitoramento dos rios, assim como mapeamento das áreas que tem risco de enchentes.

Para que a população desta região não continue sendo castigada com as cheias do rio Una, estão ocorrendo ações que visam resolver de maneira permanente a situação da população que vive nas áreas identificadas com maior vulnerabilidade, uma atuação rigorosa dos órgãos públicos para o remanejamento da população ribeirinha, além da realização das obras de infraestrutura, construindo habitações fora das áreas de risco de inundação são exemplos dessas ações. Programas e campanhas de educação ambiental completam o trabalho visando uma conscientização da sociedade no que diz respeito à responsabilidade deles para com seu meio.

No presente trabalho buscou-se identificar a localização e as características relevantes do município de Pal-

mares e obter dados históricos referentes às cheias já ocorridas nesta região. Foi realizada uma revisão bibliográfica que auxiliou na estruturação dos procedimentos metodológicos que irão ser utilizados no projeto. Assim, a pesquisa busca mostrar a importância da interação entre os fatores geofísicos e sociais na potencialização dos riscos com ênfase no risco das enchentes a fim de contribuir.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente estudo é identificar os fatores que levam a conferir vulnerabilidade ao município de Palmares, considerando a recorrência de eventos de enchente. Visa chamar atenção para a importância da realização das ações preventivas que buscam solucionar a ocorrência de episódios trágicos, pois “não podemos atribuir à natureza uma responsabilidade que, na verdade, cabe aos homens, o que evita que se ressalte a culpa deste últimos e faz com que o risco ou a crise sejam aceitos como uma fatalidade diante de qual nada se pode fazer.””(Veyret, 2007)

2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos desse estudo pretendem-se:

- 1 Levantar dados históricos referentes às cheias já ocorridas nesta região.
- 2 Identificar a vulnerabilidade e as características relevantes do município de Palmares
- 3 Apresentar os sistemas de prevenção e obras de engenharia que foram adotados a fim de prevenir a ocorrência de novas tragédias.

3 Metodologia

Para realização da presente pesquisa buscou-se primeiramente levantar o material de estudo identificando a localização e as características relevantes do município, juntamente ao levantamento de dados históricos referentes às cheias já ocorridas nesta região e a realização de uma revisão bibliográfica. Tais elementos tiveram fundamental importância na construção do embasamento necessário para produção desse artigo. De forma que o método utilizado para atingir o objetivo desta pesquisa foi elaborar uma proposta para o gerenciamento das áreas de risco a partir dos seguintes procedimentos: a) análise dos cenários de risco; b) potencial destrutivo dos processos hidrológicos ocorrentes; c) vulnerabilidade da ocupação urbana e

distância das moradias ao eixo da drenagem; d) medidas de prevenção.

4 Material de estudo

4.1 Localização

A área de drenagem da bacia do Una é de 6.740,3 km², conforme o Atlas de Bacias Hidrográficas de Pernambuco (2006), dos quais 6.262,78 km² estão inseridos no Estado de Pernambuco. O Rio Una é o principal curso d'água desta bacia, nasce na serra da Boa Vista, no município de Capoeiras (Região Agreste) e percorre 255Km até seu encontro com o Oceano Atlântico.

Tendo seu curso alto situado na zona fisiográfica do Agreste, enquanto os cursos médio e baixo encontram-se na zona da Mata. Apresenta-se intermitente até a cidade de Altinho (PE), quando se torna perene devido ao aumento dos índices pluviométricos. Sua extensão total é de aproximadamente 290 km, atravessando as sedes dos municípios pernambucanos de: São Bento do Una, Cachoeirinha, Altinho, Palmares, Água Preta e Barreiros.

- curso superior: Agreste; precipitação anual entre 600 e 800 mm.
- curso médio: Zona da Mata; precipitação média anual é de 1500 mm.
- curso inferior: Área Costeira; precipitação média anual de 2000 mm.



Fig 01. Localização da Bacia do Rio Una em Pernambuco.

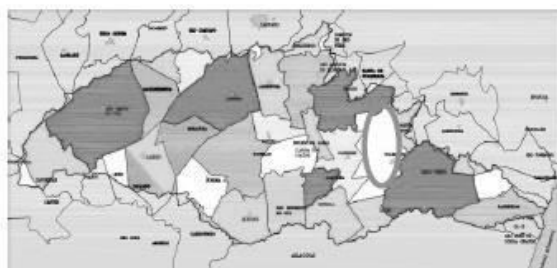


Fig. 02. Localização do município de Palmares na Bacia do Rio Una- divisão geográfica.

Tabela 01

Fonte: Censo Demográfico do IBGE (2010)

	Nome do município	Total da população 2000	Total de homens	Total de mulheres	Total da população urbana	Total da população rural	Total da população 2010
2610004	Palmares	55.790	28.802	30.722	46.880	12.644	59.524

4.2 Cheias na área em estudo

Os municípios que, em geral, são mais atingidos pelas cheias na bacia do rio Una são: Belém de Maria, Maraial, Catende, Palmares, Água Preta e Barreiros. No entanto, esta pesquisa está direcionada para o município de Palmares e dessa forma analisa alguns dados referentes às cheias já ocorrida nessa região e suas consequências.

O Relatório Técnico (Anteprojeto) Preliminar de 03 (Três) Barramentos para Controle de Cheias na Bacia do Rio Una (2002), indica as maiores cheias ocorridas na bacia até 2002:

- **2000-** média diária estimada em 937,0 m³/s em Palmares. Pico estimado em Palmares de 1.200,0 m³/s.
- **1988-** média diária de 459,0 m³/s em Palmares (CRM);
- **1975-** média diária de 940,0 m³/s em Palmares (CPRM);
- **1973-** média diária de 110,0 m³/s em Palmares (CPRM).

Em junho de 2010 ocorreu uma cheia na bacia do rio Una ainda de maiores proporções que a cheia de 2000. De acordo com o relatório de Avaliação de danos da CODE-CIPE (2012), em 2010 intensas precipitações pluviométricas ocorreram por influência do fenômeno conhecido como “Ondas de Leste” tendo sido registrado até o dia 17 de junho um acumulado de 507,4mm para uma média histórica no mês de junho de 306mm. A situação se agravou quando no dia 18 de junho de 2010 choveu 143,2mm em menos de 12h.

Entre os dias 17, 18 e 19 de junho de 2010, a enchente atingiu 67 cidades pernambucanas, principalmente da Zona da Mata e Agreste do Estado, causando prejuízos a diversas cidades e a população, inclusive com vítimas fatais. Segundo o Diário de Pernambuco (2010), 21 pessoas morreram, enquanto 26.966 ficaram desabrigadas e 55.643 pessoas ficaram desalojadas; 14.136 casas foram destruí-

das; 142 pontes ficaram danificadas, sendo que muitas delas foram totalmente levadas pela água; 5.000 km de estradas foram danificados; 12 municípios decretaram estado de calamidade pública 27 ficaram em situação de emergência. Em 24 horas choveu na região afetada 170 milímetros, o equivalente à metade da média histórica para todo o mês de junho. Nos municípios mais afetados, quase nada escapou: as águas atingiram até mesmo as ruas centrais da cidade, destruindo prédios, hospitais e órgãos públicos. As Figuras 03, 04 e 05 apresentadas a seguir ilustram a cheia ocorrida em 2010.



Fig. 03. O rio Una invade a área central da cidade de Palmares em junho/2010.

Fonte: Secretaria Estadual de Imprensa.



Fig. 04. Acesso à cidade de Água Preta, interrompido pela cheia de junho/2010.

Fonte: Secretaria Estadual de Imprensa.



Fig. 05. Ponte levada pela cheia de junho/2010 no rio Una, em Barreiros

Fonte: Secretaria Estadual de Imprensa

5 Variáveis analisadas

a) Avaliar a distribuição de precipitação no município

Segundo o estudo realizado pelo Itep climas, 2011 para a análise do regime de chuvas da bacia hidrográfica do rio Una, fez-se necessário o cálculo da climatologia com 20 anos de observações da precipitação utilizando dados de postos pluviométricos cedidos pela Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC, monitorados pela Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco - Itep-OS, através da Unidade de Monitoramento da Rede Hidrometeorológica - UMRHidromet. A distribuição espacial destes postos pluviométricos é apresentada na Figura 06 a seguir.

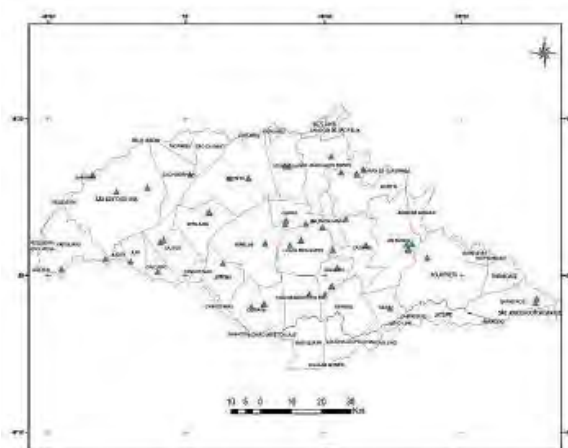


Fig. 06. Localização dos postos pluviométricos na bacia hidrográfica do rio Una.

Fonte: APAC/ITEP-OS/UMRHidromet

A bacia do Rio Una localizada nas mesorregiões do Litoral/Zona da Mata e Agreste apresenta historicamente grande irregularidade na precipitação anual, conforme pode ser percebido na Figura 07.



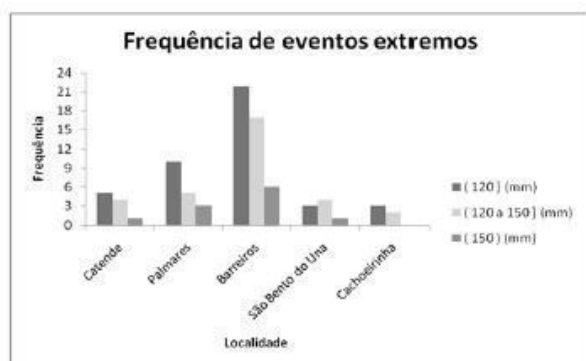


Fig.10. Frequência de eventos extremos de precipitação.

Fonte: APAC/ITEP-OS/UMRHidromet

No entanto são os eventos extremos que causam maiores transtornos a população, pois ocorre repentinamente e o tempo para o sinal de alerta e retirada da população é menor. Desta forma, é de fundamental importância analisar os eventos extremos de precipitação diária nas regiões próximas ao Rio Una.

Dessa forma, conclui-se que há uma considerável ocorrência de eventos extremos e que os municípios de Palmares e Barreiros que mais apresentam tais precipitações são o de barreiros e Palmares. Confirmando-se a necessidade de uma medida de controle de cheias nessa região já que essas precipitações são típicas da região e não vão deixar de ocorrer.

b) Potencial destrutivo dos processos hidrológicos ocorrentes

A destruição trazida pelas chuvas produz mortes, desabrigados, inutiliza estradas, pontes, escolas, hospitais, com efeitos devastadores também sobre as economias municipais. A cada inverno - ou enxurrada - um rastro de sofrimento mostra a conta dos danos humanos e materiais que afeta a população.

Tabela 03. Avaliação de danos causados por enxurradas ou inundações bruscas no município de Palmares.

Fonte: CODECIPE

	Dano: Humanos	Total de pessoas	Dano: Materiais, Edificações	TOTAL Mil R\$	Dano: Ambientais Recursos Naturais	TOTAL Mil R\$	Projeto Social Serviços Essenciais	TOTAL Mil R\$
2005	Desabrigados, Desalojados, Feridos e Alagados	7924	Residências Populares, Públicas de ensino, Escolas (Falta de manutenção de ruas urbanas (Mil m²), Comércio).	6255,5	Água (Fuga sanitária), Solo (Deslizamentos)	520	Abastecimento de água, Transporte, Energia, Saúde, Educação	372,65
2010	Desabrigados, Desalojados, Feridos e Alagados	70156	Residências Populares, Públicas de ensino e de saúde, Obras de Arte, Escolas (Falta de manutenção de ruas urbanas (Mil m²), Parques de recreação e de ensino, Ruas, Subúrbio e Comércio)	100000,5	Solo (Deslizamento e Desmoronamento)	2000	Abastecimento de água, Energia Elétrica, Transporte, Comunicação, Energia, Saúde, Educação	25013

c) Vulnerabilidade da ocupação urbana e distância das moradias ao eixo da drenagem;

Através das fotografias aéreas abaixo, obtidas na CODECIPE, pode-se analisar a proximidade das áreas urbanas no município de Palmares, ao leito do Rio Una. Sem respeitar a distância mínima indicada pelo código do meio ambiente que orienta a construção de edificações com afastamento de 100m do leito. Nota-se que a cidade se desenvolveu ocupando áreas que contradizem essa orientação e assim tornam-se vulneráveis a toda tipo de adversidades e fenômenos naturais que venham ocorrer tais como o caso de enchentes.

Através do levantamento de dados histórico a partir do banco de dados da defesa civil - CODECIPE, apresentado na tabela 03, pode-se observar a o potencial destrutivo que as inundações de 2005 e 2010 ocasionaram no município de Palmares. Demonstrando como essas tragédias podem causar à sociedade grandes prejuízos humanos, materiais, ambientais e sociais. Afetando diretamente a população.



Fig.11. Ocupação urbana as margens do rio.
Fonte: CODECIPE



Fig.12. Ocupação urbana as margens do rio.
Fonte: CODECIPE

Tabela 04. Áreas do município de palmares que foram atingidas pelas enchentes.. Fonte: CODECIPE

Ano de ocorrência	Áreas Afetadas	
	Zona Urbana	Zona Rural
2005	Bairros: São José, São Sebastião, Santa Rosa, Nova Palmares, Newton Carneiro, São Onofre, Centro, São Francisco, Santo Antônio, Santo Amaro.	Distritos: Santo Antônio dos Palmares e Sertão Azul Os Engenhos: Canaima A, Canaima B, Bom Destino, Camarão, Santa do Príncipe, Bela Vista de Baixo, Tombador, Jaqueira, Rachão, Santa Fé, Poço, Campina, Esperança, Pau Sangue, Sumadouro, Monte Pio, Camaranduba, Fertilidade, São João da Prata, Faal da Luz, Barra do dia, Camarã.
2010	Bairros: Águia Branca, Santo Onofre, Centro, São José, São Sebastião, Conjunto Habitacional João Garcia, São Manoel e Padre Angelo.	Engenheiros: União, Barro do Dia, São João da Prata, Flor do Umu, Alegria do Umu, Sertão Azul, Coureiro, Camarão, Bom Destino, Rachão, Pirajá, Diamante, Bela Vista, Camaranduba, Rachão e Camarã.

Através do cruzamento dos dados apresentados, percebemos que os locais de maior vulnerabilidade são:

Na zona urbana, os bairros de: Santa Rosa, Santo Onofre, Centro, São José e São Sebastião e na zona rural, os engenhos de: Barra do Dia, São João da Prata, Coureiro, Bom Destino e Camivozinho; foram assim identificados como áreas que necessitam maior atenção periódica, com aplicação de políticas para minimizar os riscos envolvidos, enquanto as ações definitivas, como a execução de barragens, não são finalizadas.

De acordo com o relatório de Avaliação de danos da CODECIPE, elaborado em junho de 2010, pôde-se obter informações das áreas afetadas pela inundação, separadas por áreas da Zona urbana e Rural. Os dados auxiliam na identificação de áreas que são mais propícias a sofrer com as enchentes e dessa forma teremos um mapeamento das áreas de risco que merecem maior atenção para prevenir novos desastres.

d) Medidas de prevenção

Para que as inundações não se tornem tragédias recorrentes à população, durante todo o ano são adotadas medidas concretas para evitar a sua repetição. Ações como o remanejamento da população ribeirinha, a construção de barragens e o monitoramento das precipitações precisam e estão sendo realizadas com caráter de urgência.

• Remanejamento da população ribeirinha

Após terem suas casas e lojas cobertas por águas, perdas de todos os utensílios e estoque de material durante a enchente a população ribeirinha ficou sem moradias e alojadas abrigos improvisados, recebendo auxílios de roupa e alimentação vindos de diversas localidades que se sensibilizaram com a situação da população. No entanto um relato de um funcionário da defesa civil que esteve na cidade nos últimos dias (agosto de 2012) disse que ainda há pessoas que insistem em permanecer em tais

áreas. “Palmares recebeu, na manhã desta quarta-feira (11), a primeira de uma série de audiências públicas realizadas para conscientizar as famílias e comerciantes que vivem em áreas de risco e foram atingidos com as enchentes que alagaram a Zona da Mata Sul de Pernambuco em 2010 acerca da importância de deixar essas regiões para locais mais seguros.” **Notícia publicada em 11/04/2012 pela (CEHAB).** Essas medidas visam à conscientização da população na maioria das vezes humildes com baixo poder aquisitivo e pouca escolaridade. Da importância de remoção dessas construções indevidas na área do leito do rio. Como pode ser visto nas figuras abaixo as ações de remoção da população ribeirinha e desobstrução das margens do rio Uma já esta em processo de execução



Fig. 13. Desobstrução das margens do rio Uma
Fonte: CODECIPE



Fig. 14. Desobstrução das margens do rio Uma
Fonte: CODECIPE

“A proposta é que toda a população que habita as áreas ribeirinhas às margens do Rio Una seja transferida para uma das 2.160 casas construídas pelo Governo do Estado no município. Desse total, 158 unidades habitacionais foram entregues para as pessoas que perderam as casas e viviam em abrigos, outras 388 casas estão prontas, 615 em construção e 1.450 estão em fase de terraplenagem.”

Notícia publicada em 11/04/2012 [(cehab)]. Através dessa publicação pode-se ter como base que foram e estão sendo realizadas indenizações e a transferência da população ribeirinha para áreas mais seguras, a fim de devolver ao rio a sua área natural antes ocupada por moradias e comércio. E assim evitar que essas pessoas voltem a sofrer com tal situação, já que é inevitável intervir nos fatores naturais, é imprescindível adotar medida para o convívio equilibrado com o meio ambiente.

• Construção de barragens:

A construção de 4 barragens está entre as ações essenciais para o combate das inundações, pois segundo os estudos desenvolvidos para a área, irão resolver de modo definitivo o problema cíclico das enchentes da Mata Sul: 1) A primeira será em Batateiras de Pannels (Rio Pannels); 2) a segunda em Igarapeba - São Benedito do Sul; 3) a terceira em Belém de Maria (Rio Pannels); 4) e a quarta em Serro Azul - Palmares (Rio Una). Essas Barragens estão orçadas em 200 milhões de reais e poderão acumular até 180 milhões de m³ de água. (GiroPE, 2010) De acordo com o site do SRHE(Secretaria de Recursos Hídricos e Energeticos) ” Igarapeba é a quarta de um total de cinco barragens que serão construídas dentro de um conjunto de ações do governo do estado para conter as enchentes na Mata Sul. Já estão em fase de obras as barragens de Serro Azul, Pannels II e Gatos.” Ou seja, as obras destas barragens já estão sendo executadas visando a rápida conclusão das mesma afim de evitar novas tragédias.

Além de acabar com o sofrimento ocasionado pelas constantes enchentes na Mata Sul, a água represada nas barragens também vai impulsionar a economia local com o incremento da agricultura irrigada, além do abastecimento das áreas próximas. A tabela 05 abaixo apresenta a capacidade de volume que pode ser acumulado pelas novas barragens e seus benefícios imediatos.

Tabela 05: Capacidade e benefícios das novas barragens

Fonte: Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA-Rima)

Barragem	Capacidade de armazenamento (m ³)	Benefícios
Serro azul	303 milhões	Contenção das enchentes e regularização de 850l/s para fins de abastecimento
Igarapeba	69,6 milhões	Contenção das enchentes e o destino de 1,97 m ³ /s para usos múltiplos
Pannels II	17 milhões	Contenção das enchentes
Gatos	6,3 milhões	Contenção das enchentes

Serão construídas um total de cinco(05) barragens, das quais uma esta na bacia do rio Sirinhaém - Barra de Guabiraba e quatro (contidas na área objeto de estudo) estão na bacia do Rio Una - Serro Azul, Igarapeba, Pannels II e Gatos. Juntas, irão proporcionar um controle na vazão dos rios evitando assim que as águas invadam o território das cidades vizinhas.

6 Conclusões

É comum a ocorrência de fortes precipitações na região em análise, principalmente nos meses de junho, julho e agosto onde pôde ser observado um índice pluviométrico acima de 200mm de precipitação mensal. E uma frequência significativa de ocorrência de fenômenos extremos nos municípios de Barreiros e Palmares. No entanto pode-se perceber a ocupação do leito do rio pelo homem, com edificações de uso residencial, comercial e até órgãos públicos dentro das áreas inundáveis, sem respeitar um afastamento mínimo para o leito do rio.

Desta forma é constatado que este fenômeno natural tem um histórico de ocorrência grande nesta área e fica evidente a necessidade de serem feitas alternativas de monitoramento e contenção de enchentes como as ações que estão sendo realizadas como a construção das novas barragens. Contudo, é de grande importância que pesquisas sejam realizadas a fim de identificar tais áreas e que medidas de prevenção sejam tomadas antes da ocorrência de grandes desastres como o de junho de 2010. Para isto não ocorrer necessária a colaboração do homem em preservar e respeitar o meio natural.

Os resultados da pesquisa aponta que grande parte do problema está no uso e ocupação do solo às margens do

rio. Uma vez que a cheia é um fenômeno natural, a população ribeirinha estará sempre propensa a sofrer com enchentes provocadas pelas atuais mudanças climáticas. Esta ocupação em áreas indevidas pode ser claramente identificada no município de Palmares, as figuras a seguir ilustram a situação que os moradores se encontraram após a cheia de 2010, nas áreas de acesso e do centro da cidade.



Fig. 15. Prédios as margens do Rio Una destruídos pela cheia de 2010, na área de acesso à cidade.
Fonte: Silva (2010)



Fig. 16. Residências as margens do Rio Una, na área central de Palmares, destruídas pela cheia de 2010.
Fonte: Silva (2010)



Fig. 17. Ruínas de residências e BR 101 (ao fundo), as margens do Rio Una.
Fonte: Silva (2010)

7 Considerações finais

Os estudos que vem sendo realizado sobre o desastre que atingiu Palmares e demais municípios da Mata Sul evidencia a falta de planejamento urbano das cidades situadas às margens de rios, levando a população a ocupar áreas de alta vulnerabilidade.

O caso de Palmares mostra a necessidade de que áreas que apresentam históricos de ocorrência de desastres naturais viabilizem sistemas de prevenção e obras de engenharia mais eficazes como a construção das barragens cujo objetivo é prevenir a ocorrência de tais tragédias.

Este trabalho procurou demonstrar a importância da análise e gerenciamento de risco em áreas que apresentem vulnerabilidade de ocorrência dos mesmos, adotando o caso Palmares como objeto de estudo buscou-se apresentar a necessidade de se desenvolver soluções para evitar tais transtornos, salientando que a „culpa“ de ocorrer tais eventos não é apenas ocorrência de fenômenos extremos, pois a invasão do homem ao território natural de maneira imprudente e desordenada é um grande agravante.

Referências

- [1] ALVES, C.; FALCÃO, V. Rio Una: socorro tímido e lento. Jornal do Commercio. Recife, 01 de maio de 2011.
- [2] BRASIL, Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. *Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios*. CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S; OGURA, A. T. (orgs.), Brasília, 2007.
- [3] CPTEC/INPE. *Evento de chuva intensa entre*

- Pernambuco e Alagoas ocorrido em junho de 2010.** Disponível em: <http://www7.cptec.inpe.br/~rupload/arquivo/nordestejunho2010.pdf>
- [4] NASCIMENTO, T. Começar de novo. Diário de Pernambuco. Recife, 19 de dezembro de 2010.
- [5] PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos, CONTÉCNICA Ltda. Consultoria e Planejamento. **Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Una e Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos GL4 e GL5.** Recife, 2000.
- [6] PERNAMBUCO. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Bacias hidrográficas de Pernambuco.** Recife: Comunigraf, 2006. 104 p. ISBN 978-85-60323-03-6.
- [7] PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos, TECHNE Engenheiros Consultores. **Relatório Técnico (Anteprojeto) Preliminar de 03 (Três) Barramentos para Controle de Cheias na Bacia do Rio Una.** Recife, 2002.
- [8] SOUZA, Werônica Meira de. Impactos socioeconômicos e ambientais dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE / Werônica Meira de Souza. _ Campina Grande, 2011.
- [9] http://www2.cehab.pe.gov.br/web/cehab/exibir_noticia?groupId=68999&articleId=1989179&templateId=71518 Acesso em 11/04/2012 **Notícia publicada em 11/04/2012 | 18:16**
- [10] http://www2.cehab.pe.gov.br/web/cehab/exibir_noticia?groupId=68999&articleId=1989179&templateId=71518 Acesso em 11/04/2012 Qua, 06 de Junho de 2012 17:04
- [11] http://www.srhe.pe.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=407:mais-uma-barragem-para-controle-de-cheias-entra-em-licitacao&catid=40:newsflash&Itemid=72 Acesso em 06/06/2012
- [12] http://www.itep.br/index.php?option=com_content&view=article&id=300:audiencia-publica-para-apresentacao-de-eia-riima-das-barragens-gatos-e-panels-ii&catid=31:noticias&Itemid=202
- [13] IBGE. Censo Demográfico do IBGE (2010). Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_populacao_pernambuco.pdf. Acesso em: 15 fev 2012.
- [14] GiroPE. Disponível em: <http://www.girope.com.br/noticias.php?id=8250> . Acesso em: 22 fev 2012. CPRM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/pernambuco/relatorios/PALM109.pdf>. Acesso em: 14 nov 2011.
- [15] http://www.itep.br/index.php?option=com_content&view=article&id=300:audiencia-publica-para-apresentacao-de-eia-riima-das-barragens-gatos-e-panels-ii&catid=31:noticias&Itemid=202

Avaliação das propriedades do Resíduo da Construção Civil RCC como subsídio para confecção de tijolos de solo-cimento.

Silva, L. A. S.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
laize.civil.upe@gmail.com

Lafayette, K. P. V.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
klafayette@poli.br

Resumo *A construção civil é geradora de grande volume de resíduos da construção civil (RCC). A destinação de RCC em locais inadequados provoca impactos ambientais prejudiciais. Buscam-se alternativas sustentáveis para a reintrodução dos RCC na indústria da construção. Dentro desse seguimento, a presente pesquisa visa avaliar a possibilidade técnica do uso de RCC em tijolos prensados de solo-cimento. A metodologia consiste na coleta de solo e resíduo para a obtenção das características físicas e do comportamento mecânico de composições de solo-cimento e solo-cimento com adição de 25%, 50% e 75% de RCC. Foram alcançados resultados satisfatórios para a mistura com 25% de resíduo, comprovando que é possível a utilização desse material em tijolos de solo-cimento.*

Abstract *The civil construction is a generator of a huge amount of waste of civil construction (WCC). The destination of WCC in inappropriate places causes environmental impacts which are harmful. Sustainable alternatives have been sought to reintroduce WCC in the construction industry. Within this segment, the following research aims to evaluate the technical possibility of using WCC in pressed bricks of soil-cement. The methodology consists in gathering soil and waste to obtain the physics characteristics and mechanics behavior of compositions of soil-cement and soil-cement in addiction with 25%, 50% and 75% of WCC. Satisfactory results were obtained for the mixture with 25% of waste, proving that it is possible to use this material in bricks of soil-cement.*

1 Introdução

Tendo em vista a busca do desenvolvimento sustentável, estudos têm sido realizados para que os resíduos da construção civil (RCC) possam ser reaproveitados de forma adequada, obtendo-se vantagens técnicas e menores custos. Desta maneira, os impactos ambientais produzidos pelos materiais descartados, muitas vezes de forma inadequada, são reduzidos e, eventualmente, passam a não mais existir.

Uma das aplicações dos RCC é em tijolos de solo-cimento, objetivo desta pesquisa. Em sua maioria, os resíduos são constituídos por cerâmicos, restos de argamassa e concreto, o que possibilita sua reciclagem.

A introdução de RCC na fabricação de tijolos de solo-cimento pode ser ideal para proporcionar ao solo utilizado características adequadas para seu uso. Além disso, o teor de cimento pode ser reduzido, mantendo-se a resistência à compressão especificada nas normas [1].

2 Materiais e Métodos

2.1 Solo

O solo utilizado foi coletado em uma área de encosta com alto grau de erosão, situada no Cabo de Santo Agostinho (RMR). Foram coletadas amostras deformadas a 2,5 m de profundidade, totalizando cerca de 210 kg de solo.

2.2 Resíduo de construção civil

O RCC foi coletado na Usina de Beneficiamento – Ciclo Ambiental, localizada em Camaragibe (RMR). Foi feita a coleta de cerca de 280 kg de resíduo misto.

2.3 Cimento

Utilizou-se um cimento CII-E 32. Foi adotado um teor de 7% de cimento em relação da massa de solo devido a recomendações da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), com base na classificação H.R.B. (Highway Research Board) do solo.

2.4 Caracterização física

2.4.1 Composição Granulométrica

Os ensaios de análise granulométrica foram realizados de acordo com a NBR 7181 [2]. Foi analisada a granulometria do solo, do resíduo e misturas dos dois materiais com teores de 10%, 25%, 50% e 75% de RCC.

2.4.2 Compactação

Os ensaios de compactação foram executados segundo a norma NBR 7182 [3]. Através destes, foram obtidas as umidades ótimas e peso específico aparente seco máximo.

A umidade ótima é um importante parâmetro nos trabalhos realizados com solo por permitir condições melhores de máxima compactação do material, dando a este maior resistência, densidade e durabilidade [4].

Foram feitos ensaios de compactação do solo, do resíduo e das composições contendo 10%, 25%, 50% e 75% de RCC.

2.5 Compressão Simples

2.5.1 Corpos de Prova Cilíndricos

Os ensaios de compressão simples foram realizados com teores de 25%, 50% e 75% de RCC, seguindo a norma NBR 12025 [5]. A moldagem dos corpos de prova cilíndricos foi realizada conforme a NBR 12024 [6], utilizando-se da energia Proctor Normal.

Moldaram-se seis corpos-de-prova para cada traço; três rompidos aos 7 dias e três ao 28 dias.

Para a realização dos ensaios de compressão, utilizou-se uma prensa Emic, modelo 30.000.

3 Apresentação e Análise dos Resultados

3.1 Caracterização Física

3.1.1 Composição Granulométrica

Através dos ensaios de peneiramento e sedimentação, obtiveram-se as curvas granulométricas do solo, do resíduo e misturas, mostradas na Fig. 1.

De acordo com a classificação trilinear dos solos, o solo estudado é areno argiloso. O RCC, em sua grande maioria apresenta frações de areia.

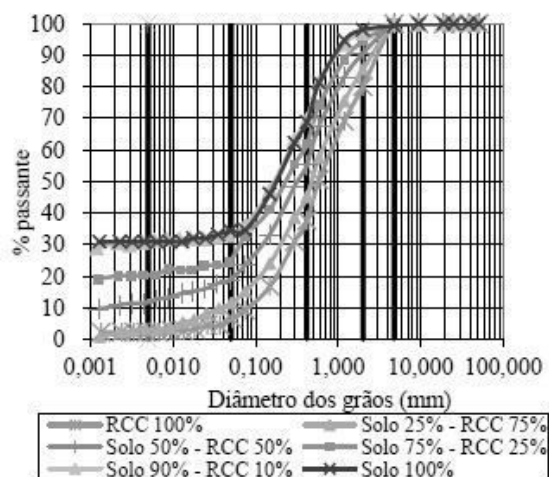


Fig. 1. Curvas Granulométricas.

3.1.2 Compactação

A Fig. 2 mostra as curvas obtidas através dos ensaios de compactação aplicando-se energia de Proctor Normal.

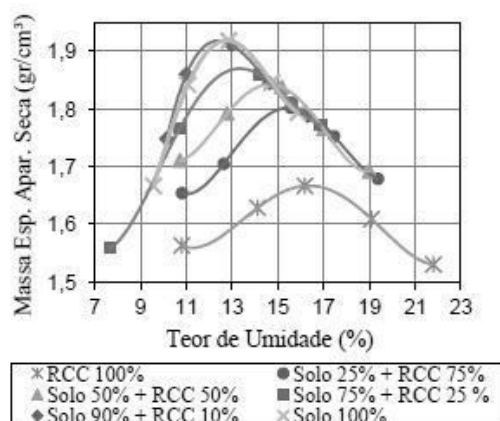


Fig. 2. Curvas de compactação.

Nota-se que com o aumento do teor de RCC, a umidade ótima aumenta, enquanto que o peso específico seco máximo diminui.

3.2 Compressão Simples

A ABNT – NBR 8491 especifica que a resistência à compressão da média de tijolos maciços não deve ser inferior a 2,0 MPa com idade mínima de sete dias. Em pesquisas anteriores, é notável o acréscimo de resistência

de composições de solo-cimento e resíduo com o passar do tempo [1].

3.2.1 Corpos de prova cilíndricos

A Fig. 3 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos, com 7 e 28 dias de cura.

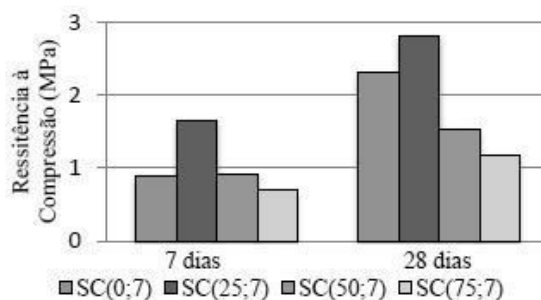


Fig. 3. Resultados de resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos.

Sendo SC(R;C) a denominação dos traços de solo-cimento; R: resíduo; C: cimento.

A Tabela 1 mostra dos valores de tensão máxima alcançada para cada traço estudada, com respectivo acréscimo de resistência em porcentagem.

Tabela 1. Valores de resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos.

Traço $S_{(R,C)}$	Resistência à compressão 7 dias (MPa)	Resistência à compressão 28 dias (MPa)	Acréscimo de resistência (%)
SC(0;7)	0,89	2,31	61,47
SC(25;7)	1,66	2,82	41,13
SC(50;7)	0,92	1,53	39,87
SC(75;7)	0,70	1,18	40,68

É notável que o melhor traço de solo-cimento e resíduo analisado é o que possui 25% de RCC e 7% de cimento em relação à massa de solo, por proporcionar melhores resultados. Traços com percentual superior a 25% resultam em misturas com um baixo teor de aglomerantes, assim, não têm coesão suficiente para garantir resistência a tais composições.

Para a resistência ideal determinada pela NBR 8491 [7], os traços SC(0;7) e SC(25;7) analisados apresentaram resultados satisfatórios aos 28 dias.

4 Conclusões

1. De acordo com a curva granulométrica e os limites de consistência o solo foi classificado como um A2-6, pela H.R.B., ou seja, uma areia argilosa;
2. Quanto maior a porcentagem de RCC, maior a umidade ótima e menor a massa específica aparente seca máxima do material;
3. O traço com SC(25,7) foi o que apresentou melhor desempenho dentre as composições estudadas, tanto por atingir resistência superior a 2,0 Mpa aos 28 dias;
4. Para porcentagens acima de 25% de RCC, a mistura de solo-cimento-resíduo tornou-se muito arenosa, com pouca porcentagem de aglomerantes, dessa forma, não foi obtida resistência adequada.

ABNT. NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento – Especificação. Rio de Janeiro, 1984.

Referências

- [1] FERRAZ, André Luiz Nonato. Análise da adição de resíduos de argamassa de cimento em tijolos prensados de solo-cimento. 2004. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica - Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação - Procedimento. Rio de Janeiro, 1986.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. SOUZA, Márcia I. B.; SEGANTINI, Antonio A. S.; PEREIRA, Joelma A.. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduo de concreto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 12, n. 2, p.205-212, 18 set. 2007.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 12025: Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1990.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 12024: Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas –

Análise das causas de acidentes de trabalho ocorridos numa obra e possíveis relações com Projeto

Priscilla Elisa de Azevedo Basto
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
priscilalsht@poli.br

Prof.^a M.Sc. Bianca M^a Vasconcelos
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
biancalsht@poli.br

Prof.^o Dr. Béda Barkokébas Jr.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
bedalsht@poli.br

Resumo

Analisar os acidentes de trabalho ocorridos num canteiro de obra de grande porte, de modo a verificar possíveis vínculos com a etapa projetual e como poderia ter sido evitado, com ênfase nos Projetos de Arquitetura e Estrutura. O estudo consistiu inicialmente na coleta de dados de acidentes, através Fichas de Análise de Acidentes do Trabalho – FAAT, ocorridos num canteiro de obras de grande porte, localizado na cidade do Recife. Em seguida, foi realizada uma análise dos 367 acidentes ocorridos no período outubro de 2010 e março de 2012, com a utilização do Método de Análise de Vínculo entre o Acidente e o Projeto - MAVAP (Vasconcelos, 2012). Este consiste na estruturação de planilhas contendo as informações gerais e analíticas de cada acidente de trabalho. Através desta análise, identificou-se os acidentes de trabalho que poderiam ser evitados pela inserção das considerações de segurança do trabalho no Projeto, além da identificação dos fatores causais predominantes para a ocorrência dos acidentes analisados, das medidas preventivas que poderiam ter sido adotadas e dos tipos de projeto vinculados, com ênfase nos projetos de Arquitetura e Estrutura. Enfim, a pesquisa evidenciou, a existência de acidentes que poderiam ter sido evitados através da inserção de medidas preventivas adotadas na fase projetual. Além disso, constatou-se que a conscientização/formação dos profissionais responsáveis pelo projeto do empreendimento e a disponibilização de materiais de auxílio, como softwares que recomendem diretrizes a serem seguidas em cada etapa e tipo de projeto, têm papel fundamental na Prevenção de acidentes através da elaboração de Projetos - Pap.

Palavras-Chave: Análise de acidentes. Prevenção através de Projeto. Segurança do trabalho

1 Introdução

O setor da construção civil se destaca no campo da segurança do trabalho, já que apresenta uma grande diversidade de riscos. Segundo Vasconcelos (2009), em seu processo produtivo, a indústria desse setor, envolve vários profissionais habilitados, tendo cada um deles responsabilidade parcial sobre o empreendimento. Gehbauer (2004), numa visão ampla do processo construtivo destaca os seguintes agentes: investidores, engenheiros, arquitetos, organizações executoras, fornecedores de materiais e clientes.

Como o projeto arquitetônico é o ponto de partida para os demais projetos técnicos e para aqueles elaborados para a produção, o arquiteto e os demais projetistas, devem ter em vista, como serão realizados os serviços e como será a interação entre o homem (que executa o serviço) e a edificação (VASCONCELOS, 2009).

A Directiva Européia nº 92/57/CEE aponta que as escolhas arquitetônicas inadequadas ou o planejamento incorreto dos trabalhos durante a elaboração do projeto do canteiro de obras, contribuíram para mais da metade dos acidentes de trabalho em canteiros da União Européia.

Da mesma forma, um estudo com a análise de 450 acidentes de trabalho causadores de mortes ou ferimentos ao trabalhador de diversos seguimentos da indústria da construção civil, fornecidos pela Occupational Safety and Health Administration - OSHA e pelo programa Fatality Assessment and Control Evaluation - FACE do National Institute of Occupational Safety & Health - NIOSH, ambas instituições dos Estados Unidos, realizada por Behm (2006), mostrou que 30,2% (136) desses acidentes possuíam vínculo com o projeto, em que caso medidas preventivas tivessem sido adotadas na fase de projeto poderiam ter evitado os acidentes. Essa análise demonstra o quanto é importante que a segurança do colaborador da obra esteja em foco desde os primeiros passos do projeto.

A Prevenção de acidentes através da elaboração do Projeto (PaP) ou Prevention through Design (PtD), como é conhecido no ambiente internacional, é definido pela NIOSH (2012) como o direcionamento de segurança e saúde do trabalho necessária no processo de projeto para prevenir ou minimizar os perigos relacionados ao trabalho e riscos associados à construção, fabricação, uso, manutenção e arrumação de instalações, materiais e equipamentos. Devido à necessidade da introdução desse conceito foram criados em diversos lugares do mundo regulamentos e diretivas que exigem um comprometimento dos projetistas para com a segurança do trabalhador, causando a posterior diminuição dos acidentes e trazendo os diversos benefícios a ela atrelados.

2 Objetivo

Analisar os acidentes de trabalho ocorridos num canteiro de obra de grande porte, de modo a verificar possíveis vínculos com a etapa projetual e como poderia ter sido evitado, com ênfase nos Projetos de Arquitetura e Estrutura.

3 Estado da arte

O alto índice de acidentes no setor da construção foi evidenciado pela Agência Européia para a segurança e a Saúde no Trabalho (2003) que afirma que em nível mundial os trabalhadores da construção tem três vezes mais probabilidade de sofrer ferimentos que os trabalhadores de outras áreas. A partir dos fatores peculiares da indústria da construção civil, como o tamanho das empresas, a curta duração das obras, as constantes transformações da obra e a rotatividade da mão de obra, percebe-se que estes acabam por influenciar principalmente na formação/conscientização dos trabalhadores. Para que haja uma redução do número de acidentes é necessária a presença da Segurança e Saúde do Trabalho - SST como forma de evitar eventos indesejados, sejam eles acidentes ou incidentes, originados a partir de riscos presentes no ambiente de trabalho.

Além da inserção da SST dentro do canteiro de obra, sua presença também é necessária na fase conceitual da obra, tendo em vista que um projeto bem concebido poderá evitar improvisações futuras, constatadas muitas vezes, após a ocorrência de acidentes. Logo, quando as preocupações com os riscos surgem desde a fase de projeto, existe uma prevenção de riscos mais efetiva. Para isso, deve-se intervir no processo de elaboração de projetos, de modo que medidas de segurança sejam inseridas para garantir a saúde do trabalhador.

3.1 Elaboração de projetos

A fase conceitual ou de concepção esta presente no início do ciclo de vida do empreendimento, sendo seguido pelas fases de execução, uso, manutenção e desconstrução. De acordo com Vasconcelos (2009) é nesta fase em que são executados os projetos e o planejamento da obra, realizando estimativa da sua viabilidade e potencial de sucesso.

Segundo o Manual de Escopo de Serviços de Coordenação de Projetos (AGESC, 2007b), a fase de concepção visa apoiar o empreendedor no levantamento e determinação do conjunto de dados e de informações que pretende conceituar e caracterizar o produto e as suas restrições.

Além de um projeto que retrate o produto, é aconselhável que seja feito um projeto para produção deste, onde serão definidos os procedimentos e sequências de trabalho, recursos e componentes necessários para a sua construção, ajudando a diminuir os riscos, pois diminui a probabilidade da realização de improvisos para resolver problemas com especificações e detalhamentos incompletos, falhos ou incompatíveis (FABRÍCIO, 2004).

Oliveira (2004) demonstra a importância do projeto de uma edificação através da sua determinante influência sobre o desempenho desta, pois ele permite a definição adequada da produção ainda na fase de concepção do produto.

Desse modo pode ser observado, que na fase de concepção são tomadas decisões que podem otimizar o produto tanto do ponto de vista financeiro, do desempenho de uma edificação em seu uso e dos processos produtivos. Portanto é necessária a integração entre a atividade de projeto e da construção e uma eficaz coordenação dos projetos.

O projeto final de um empreendimento é formado a partir da união de vários projetos, em que a coordenação de projeto deve orientar quanto a compatibilização destes. Vasconcelos (2012) reuniu os tipos de projetos com base nas características, objetivos e nas fases da obra, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1. Agrupamento por tipo de projeto

TIPOS	GRUPOS	CARACTERIZAÇÃO
Arquitetura; Estrutura;	Projetos Base	Projetos informativos, que fornecerão suporte aos demais tipos de projetos.
Instalações Hidrossanitárias; Instalações Elétricas;	Projetos Complementares I	Projetos que darão suporte à habitabilidade e a adaptação de novos sistemas.
Instalações Telefônicas; Instalações de Gás; Sistema de Combate à Incêndio; Projeto de Segurança (PCMAT); Projeto do canteiro de obras	Projetos Complementares II	Similares e subsequentes aos Projetos Complementares I, fornecem suporte ao funcionamento das instalações provisórias e permanentes.
Automação predial; Ar condicionado / Aquecimento; Sistema de Antena; Sistema de Internet.	Projetos Especiais	Projetos de tecnologia mais recente e que contribuem na habitabilidade e no conforto das instalações permanentes.
Projeto de Contenção; Projeto de Escoramento; Projeto de Cofragem	Projetos para produção I	Projetos que tomam como base os projetos anteriores e destinam-se a orientarem a produção, funcionando como um
Projeto de Alvenaria; Projeto de Esquadrias; Projeto de revestimento de Fachadas.	Projetos para a produção II	procedimento de execução.
Projeto de Máquinas e Equipamentos	Projetos Correlatos	Projetos de máquinas e equipamentos utilizados pela produção do empreendimento, com potencial de atuar na produtividade e na segurança no trabalho da obra.

Fonte: Vasconcelos (2010).

Para entender o vínculo existente entre os projetos apresentados no Quadro 1 e a segurança no trabalho, é essencial a compreensão de quais os seus objetivos, elementos e o processo de elaboração, pois desse modo após a identificação do acidente que poderia ser evitado através de medidas no projeto, as providências são tomadas em cima do projeto específico em qual o risco está inserido.

Vale ressaltar que o presente trabalho foca os Projetos Base (Arquitetura/ Estrutura).

Na prática, o projeto de arquitetura serve de modelo para os demais projetos, fazendo com que influencie, na antecipação e identificação dos possíveis problemas nas etapas de execução e manutenção. A qualidade de suas informações torna-se indispensável para o sucesso do empreendimento, pois as decisões tomadas na fase de concepção podem causar prejuízos a muitas variáveis em toda vida útil do empreendimento (VASCONCELOS, 2009).

No projeto Estrutural, o projetista deve ter uma afinidade inicial com a arquitetura. Isto se deve ao fato que, a forma define a estrutura, e em consequência, a escolha dos materiais e dos processos produtivos. É o projeto arquitetônico, juntamente com o projeto das instalações, que define quais as posições e as dimensões dos elementos estruturais, de forma que estejam em harmonia com o ambiente que o cerca.

Rebello (2000) define estrutura, no caso das edificações, como um conjunto de elementos que interagem entre si para alcançar um objetivo de criar um espaço no qual pessoas exercerão diversas atividades. Estes elementos estruturais são as vigas, lajes e pilares ou o agrupamento destes elementos, que tornam-se o caminho percorrido pelas forças que atuam sobre a edificação para chegar ao solo. (REBELLO, 2000; GIONGO, 2007).

Devido a grande influência e aos suporte dado pelos Projeto Base sobre demais projetos da obra, grande parte das considerações de segurança do trabalho são aplicáveis aos projetos de Arquitetura e de Estrutura.

3.2 Prevenção de acidentes através da elaboração do projeto na Construção Civil-Pap

A prevenção através do projeto foi sugerida primeiramente no Manual de prevenção de Acidentes do National Safety Council - NSC, em 1955 (GAMBATESE et al., 1997). Em 1985, o Internacional Labour Office - ILO percebeu a necessidade de o projetista envolver e considerar a segurança do canteiro de obras em seu trabalho (BEHM, 2005).

Atualmente, o projetista tem sido identificado, na indústria da construção, como um detentor de grande impacto na segurança do trabalho, já que a elaboração de projetos, como foi demonstrada anteriormente, é uma atividade de crescente complexidade, que exige uma visão global dos diferentes negócios envolvidos e de outras áreas da atividade (VASCONCELOS et al., 2011a). Neste setor, o tempo destinado ao projeto é reduzido, acarretando em

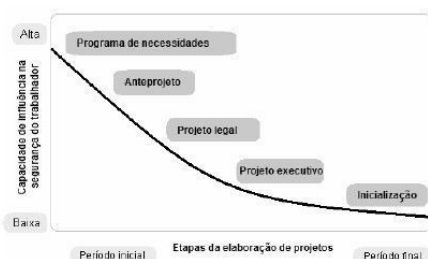
improvisações na obra, que somadas a ausência da introdução das considerações de SST no projeto, apresentam potencial na geração de acidentes (VASCONCELOS et al., 2011b). Logo, começar a agir considerando a segurança do trabalhador desde as fases conceituais da obra fará com que previna acidentes em diferentes partes da construção.

De acordo com Behm (2006), Pap pode ser definido como considerar a segurança no canteiro de obras na preparação dos planos e especificações para projetos de construção. Desse modo um dos principais objetivos da introdução desse conceito será prevenir ou reduzir doenças, acidentes ou mortes no trabalho através da inclusão de considerações sobre prevenção em todos os projetos que tenham impacto sobre o trabalhador (NIOSH, 2012).

Manuele (2008) aponta entre os principais benefícios obtidos pela aplicação do PaP, o aumento da produtividade, a diminuição dos custos de operação e a significativa redução dos riscos.

Isso demonstra, o quanto também pode ser lucrativo para a empresa construtora aplicar a segurança desde as fases conceituais da obra.

O gráfico apresentado por Szymberski (1997) (figura 1) evidencia que quando a segurança é levada em consideração a partir, apenas, da fase de construção uma parcela significativa da capacidade de influência na segurança do trabalhador é perdida. Pode-se constatar ainda a grande influência que a fase de projeto (conceitual) possui sobre a segurança no canteiro de obra.



Fonte: Adaptada Szymberski (1997).

Figura 1 - Curva de influência do tempo/segurança.

Dentre os locais engajados na Pap em seu campo normativo, pode-se citar: os Estados Unidos, a União Europeia, o Reino Unido, a Austrália e a África do Sul. Essa difusão demonstra que esse seguimento da segurança do trabalho já está sendo visado pela maioria dos continentes, havendo ainda área do PaP que foca exclusivamente o setor da Construção, conhecido a nível internacional como CHPTD – Construction Prevention through Design.

Toole e Gambatese (2008) identificaram quatro trajetórias específicas que o CHPTD pode seguir. Sendo a primeira o aumento da pré-fabricação dos elementos utilizados na construção, em seguida tem-se o aumento do uso de materiais e sistemas menos perigosos e uma maior aplicação de engenharia durante a construção. E por fim, a maior investigação e consideração espaço.

Portanto, podem-se constatar os contínuos esforços acerca de promover a segurança no 6 processo conceitual, no qual são introduzidas novas considerações regularmente, podendo-se citar como exemplo o início de pesquisas que focam a consideração da prevenção de acidentes na elaboração de projetos de construções verdes.

3.3 Análise das causas de acidentes

Um acidente pode estar vinculado a diferentes causas que estão inter-relacionadas e em constante transformação, ou seja, o acidente é multicausal. Em virtude dessa multiplicidade e diversidade de fatores envolvidos, é essencial o conhecimento de todos os possíveis fatores de riscos no ambiente de trabalho.

Para evitar a ocorrência de eventos indesejados ou, ainda, diminuir seus impactos danosos, há a necessidade de investigar exaustivamente todas as possibilidades destes, para conhecer suas causas e efeitos e, em seguida, estabelecer os instrumentos eficazes de sua prevenção e controle (BARBOSA FILHO, 2001).

De acordo com Almeida, a análise de acidentes está ganhando mais espaço como ferramenta auxiliar na prevenção de acidentes, dada a importância do conhecimento dos fatores causais desses eventos para a sua efetiva prevenção, estando presente no gerenciamento de riscos. Atualmente existem vários métodos criados com essa finalidade. A escolha deste pode ser limitada por diversos fatores, como o tipo de indústria a qual a investigação está destinada ou o setor que necessita desses dados (engenharia de segurança do trabalho, qualidade, meio ambiente, etc) (MAIA, 2008).

A OHSAS-18001 (2007) aponta que a organização deve estabelecer, implementar e manter procedimento(s) para registrar, investigar e analisar incidentes com as finalidades de identificar a necessidade de ações corretivas e a oportunidade de ações preventivas.

No Brasil o órgão governamental responsável pela análise de acidentes é o Ministério do Trabalho e do Emprego (MTE) que constatou que a maioria das empresas, através de análises interna, não identifica os reais fatores ligados ao acidente, atribuindo como culpa deste a falha humana. Não eliminando o perigo que pode vir a causar novos acidentes.

Diversas áreas podem ser beneficiadas pela correta avaliação das causas do acidente, pois estará diminuindo os custos econômicos e sociais, além de eliminar o risco, o que estará prevenindo a ocorrência de um novo evento adverso.

De acordo com o MTE (2010) é necessária uma metodologia estruturada para coleta, organização e análise das informações para que uma investigação seja eficaz. Com base nas etapas apontadas pelo MTE (2010) elaborou-se a figura 2.



Figura 2 – Etapas da análise de eventos adversos.

Esta análise, através dos seus diversos métodos, é de imensa importância na identificação do 7 vínculo entre o evento e o projeto, apontando qual a origem do risco e o fator causal que agiu predominantemente na ocorrência do acidente, de modo que o projetista possa tomar providências para contribuir na eliminação/redução dos riscos de acidente.

4 Metodologia

Primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica em livros, artigos publicados em revistas periódicas, artigos publicados em congressos, dissertações de mestrado, normas nacionais e internacionais.

Para tanto, a pesquisa foi subdividida nos seguintes temas:

- Segurança no Trabalho: revisão dos conceitos básicos sobre acidentes e incidentes de trabalho, perigo e riscos e SST na Construção Civil;
- Elaboração de Projetos: etapas do processo de elaboração de projetos, enfatizando os projetos de arquitetura e estrutura;
- Prevenção através do Projeto: estudou-se o tema a partir de publicações internacionais, que explicam como esse tipo de prevenção pode ser aplicada, qual a sua importância e como está sendo constatada a sua utilização em diferentes países;

- Análise de acidentes: foi feita uma pesquisa para conhecer as vantagens e os métodos utilizados como ferramenta de prevenção e controle dos acidentes de trabalho.

Também foram realizadas pesquisas sobre os diversos tópicos em sites de órgãos governamentais internacionais como a National Institute of Occupational Safety & Health - NIOSH, a Occupational Safety and Health Administration - OSHA e a Organização Internacional do trabalho - OIT, e uma pesquisa documental, com foco em normas de elaboração de projetos, para o conhecimento das etapas dos projetos de arquitetura e estrutura.

Em atividade paralela foi realizado um estudo de caso, com coleta e análise de casos de acidentes de trabalho ocorridos, no período compreendido entre outubro de 2010 e março de 2012, em um canteiro de obras localizado na Região Metropolitana do Recife.

Esta obra possui previsão de entrega novembro de 2012 e terá uma área total construída de 286.000 m². Além disso, o empreendimento possui uma média de 4.333 funcionários realizando atividades diariamente através de empregos diretos e indiretos.

O estudo consistiu inicialmente na coleta de dados de acidentes, ocorridos no canteiro descrito anteriormente, através Fichas de Análise de Acidentes do Trabalho – FAAT. Foram utilizados modelos com diferente estruturação, mas que possuíam uma compatibilidade de informações necessárias para realização da análise.

A análise do acidente foi realizada a partir do Método de Análise de Vínculo entre o Acidente e o Projeto - MAVAP (Vasconcelos, 2012), que consiste inicialmente na estruturação uma planilha contendo as informações gerais de cada acidente de trabalho contidos nas FAATs coletadas.

Esta planilha de informações gerais abrange os seguintes dados: a referência do acidente, o país e a localidade de onde ele aconteceu, a função do colaborador acidentado, o setor da obra onde o acidente ocorreu, a gravidade do acidente, classificando o evento em acidente com lesão leve (no qual o colaborador não foi afastado do canteiro após a ocorrência deste), acidente com lesão grave (no qual o mesmo foi afastado do canteiro por um determinado período de tempo, destinado a recuperação da lesão) ou fatal, e por fim a descrição das causas 8 do acidente – narrativa que esclareça as ações, objetos ou ambiente responsável predominantemente pela sucessão do acidente. Estas são informações necessárias para o reconhecimento da possível relação entre a causa do acidente de trabalho com aspectos projetuais.

Após o preenchimento das informações gerais foi iniciada a análise de cada acidente baseada na compreensão da descrição da ocorrência, formando a planilha dedicada às informações analíticas.

Dentro desta são preenchidos, de acordo com a avaliação do evento, os campos relativos ao fator causal predominante, as providências que poderiam ter sido tomadas para que o acidente não volte a ocorrer, gerando a prevenção de acidentes, se o projeto poderia ter colaborado para evitar o acidente, e no caso desta última informação ser positiva, discrimina-se em que tipo de projeto poderia ter sido feita alguma modificação para evitar o acidente.

Podem ser constatados diversos fatores predominantemente causadores de acidentes. Neste trabalho serão destacados os fatores organizacionais, que acontecem devido a deficiências na organização, tanto por parte de problemas no Layout, quanto por procedimentos inadequados ou que não estão sendo executados continuamente; os fatores humanos, quando o acidente foi causado devido a uma falha humana, cuja origem pode residir em falta de conhecimento ou experiência, stress, não cumprimento de normas, distrações, dentre outros; e por fim, os fatores materiais, onde o acidente deve-se a defeitos em materiais, máquinas e ferramentas.

Ao fim foram obtidos os dados referentes a quantificação dos acidentes quanto a sua gravidade, a quantidade de acidentes que poderiam ter sido evitados pelo projeto, a quantificação dos fatores causais predominantes dos acidentes evitáveis através do projeto e quais os principais tipos de projeto vinculados a estes acidentes.

5 Resultados

Foram analisados 367 acidentes de trabalho através do Método de Análise de Vínculo entre o Acidente e o Projeto - MAVAP ocorridos na obra estudada.

Do total de acidentes analisados 345 referem-se a acidentes com lesão leve, representando 94,0% e 22 com lesões graves, representando 6,0%, não havendo, portanto, nenhum acidente fatal, conforme mostra o gráfico 1.



Gráfico 1 - Quantificação dos acidentes analisados quanto a sua gravidade

Os baixos números de acidentes analisados, se comparados aos parâmetros de período de tempo estudado, número de funcionários no canteiro de obras e a extensão do terreno no qual a obra se encontra, demonstram que há uma aplicação de uma política de prevenção de acidentes pela gestão empreendedora da obra, em que a grande parte dos acidentes constatados resultou em lesões reparáveis e não incapacitantes no trabalhador.

Num segundo momento, referente as informações analíticas, foram eliminados 16,0% (59 acidentes) dos acidentes totais, devido a não compreensão do acidente ou a informações insuficientes para uma análise efetiva.

Portanto, dos 308 acidentes analisados, após a anterior eliminação, nos quais foram preenchidas as informações analíticas, foi constatado que em apenas 15 acidentes deste canteiro referem-se as considerações tomadas no projeto poderiam ter evitado o acidente, representando 4,1%, como demonstrado através do gráfico 2.

Esse dado demonstra que os acidentes com lesões leves possuem pouco vínculo com o projeto, em contraposição ao apresentado no estado da arte, em que alguns dados estatísticos mostram um maior vínculo entre os acidentes com lesão grave e o Projeto.

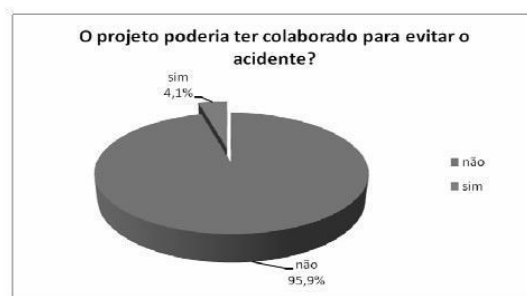


Gráfico 2 - Se o projeto poderia ter colaborado para evitar o acidente analisado.

Quanto ao fator causador predominante do acidente identificado através do projeto, que representa 4,1% dos acidentes analisados, foi constatado que aquele que contribuiu em maior número para ocorrência de acidentes foi o

Fator Organizacional, com 13 acidentes na obra estudada, representando 86,7%, seguido pelo **Fator Material** com 02 acidentes, representando 13,3%, e nenhum acidente com **Fator Humano** como fator predominante para a ocorrência do acidente, como pode ser verificado no gráfico 3.

Logo, pode ser constatado que a gestão empresarial é o elemento que possui maior influência na prevenção de acidentes através de projetos, por isso é necessário um comprometimento cada vez maior do projetista em procurar projetar pensando na execução da atividade, na disposição dos elementos e nos componentes inseridos dentro do canteiro de obras.



Gráfico 3 – Quantificação dos acidentes estudados quanto ao fator causal predominante.

Avaliando-se qual o tipo de projeto em que poderia ter sido realizada mudanças que evitariam os acidentes analisados, foi verificado que em mais da metade dos casos, 66,7% (10 acidentes), estão ligados ao Projeto de Canteiro de Obras, acompanhado pelos 26,7% (04 acidentes) vinculados ao Projeto de Segurança (ambos inclusos dentro dos Projetos Complementares II) e 6,7% (02 acidentes) dos Projetos de Máquina, portanto dentre os demais projetos agrupados no Quadro 3.1 não foi encontrada nenhuma ligação com os acidentes, isso está demonstrado no gráfico 4.

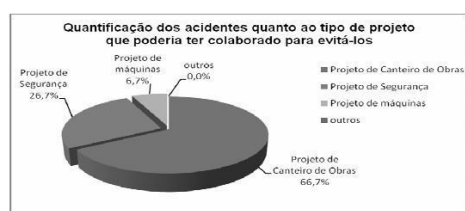


Gráfico 4 – Quantificação dos acidentes estudados quanto ao tipo de projeto que poderia ter colaborado para evitá-los.

Com esses resultados, foi constatado que a disposição, a delimitação e a sinalização de áreas do canteiro de obras são de imensa importância na prevenção de acidentes vinculados ao projeto. Pois, o mau dimensionamento de áreas de atividades, de vivência, armazenamento de materiais, de máquinas e de equipamentos, além da não adequação dos meios de acesso a outros níveis, como a rampa, aos trabalhos executados sobre ele ou a instalações incorreta

pode contribuir para o acontecimento de diferentes tipos eventos não desejados, que podem levar a acontecer até mesmo acidentes graves.

6 Conclusões

O estudo apresentado neste trabalho é inovador devido a escassez de pesquisas na área de Prevenção de acidentes através da elaboração de Projetos, inclusive no Brasil, tendo que recorrer a estudos desenvolvidos em publicações internacionais para sua fundamentação.

Através da análise dos acidentes do canteiro de obras estudado, pôde-se identificar, qualificar 11 e quantificar as causas desses eventos, e consequentemente os riscos de acidentes associados. Com isso, medidas preventivas foram identificadas a fim de eliminar/reduzir a possibilidade de repetição de novos eventos.

A aplicação do Método de Análise de Vínculo entre o Acidente e o Projeto – MAVAP foi eficaz por permitir que, a identificação dos vínculos entre as causas dos acidentes e o Projeto do empreendimento estudado e do tipo de Projeto (Arquitetura/Estrutura) que poderia atuar na prevenção do acidente analisado, fossem alcançados.

O estudo obteve em seus resultados evidências de vínculos existentes entre o Projeto e os acidentes, mostrando ao meio produtivo, a existência de acidentes evitáveis através de medidas tomadas no projeto.

Por fim, pôde-se constatar que a conscientização/formação dos profissionais responsáveis pelo projeto do empreendimento e a disponibilização de materiais de auxílio, como softwares que recomendem diretrizes a serem seguidas em cada etapa e tipo de projeto, têm papel fundamental na Pap, visto que, muitos acidentes ligados ao projeto tiveram como causa predominante o Fator Organizacional, devido à deficiência no conhecimento da Pap e da escassez de materiais didáticos de auxílio ao projetista.

Referências

- [1] AGÊNCIA EUROPEIA PARA A SEGURANÇA E A SAÚDE NO TRABALHO – OSHA/EU. *ESTATÍSTICAS*. Disponível em: <<http://osha.europa.eu/pt/statistics/>>. Acesso em: 20 jun. 2009.
- [2] ASSOCIAÇÃO DOS GESTORES E COORDENADORES DE PROJETO. **Manual de Escopo de Serviços para Coordenação de Projetos** – Indústria Imobiliária. São Paulo: AGESC, 2007. Disponível em: <<http://www.manuaisdeescopo.com.br/>>. Acesso em: 18 jul. 2012.

- [3] BARBOSA FILHO, A. N. **Segurança do trabalho & gestão ambiental**. São Paulo: Atlas, 2001.
- [4] BEHM, M. Linking construction facilities to the design for construction safety concept. **Safety Science**, n. 43, p. 589-611, 2005.
- [5] _____. *An Analysis of Construction Accidents from a Design Perspective*. **The Center to Protect Workers' Rights**, January 2006.
- [6] FABRÍCIO, M. **O processo de projeto na construção de edifícios** – Notas de Aula 2. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2004.
- [7] GAMBATESE, J. A.; HINZE, J. W.; HAAS, C. T. Tool to Design for Construction Worker Safety. **Journal of Architectural Engineering**, v. 3, n. 1, p. 33-41, March 1997.
- [8] GEHBAUER, F. **Racionalização na construção civil**: como melhorar processos de produção e de gestão. Recife: SENAI, SEBRAE, GTZ, 2004.
- [9] MAIA, D. C. **Análise de acidentes fatais na indústria da construção civil do estado de Pernambuco**. 2008. 122 p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.
- [10] MANUELE, F. A. Prevention through Design (PtD): History and Future. **Journal of Safety Research**, n. 39, p.127-130, 2008.
- [11] MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Guia de análise acidentes de trabalho**. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2010.
- [12] NIOSH. **Prevention through Design**. Centers of Disease Control and Prevention. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/topics/ptd/>>. Acesso em: 01 mar. 2012.
- [13] OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS – REQUIREMENTS – 12 **OHSAS 18001:2007**. Disponível em: < www.isotec-quality.com.br/normas/ohsas_18001.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2012.
- [14] OLIVEIRA, O. Gestão do processo de projeto na construção de edifícios. **Integração**, n. 38, p. 201-217, jul./ago./set. 2004.
- [15] SZYMBERSKI, R. T. Construction Project Safety Planning. **TAPPI Journal**, v. 80, n. 11, p. 60-74, 1997.
- [16] TOOLE, T.; GAMBATESE, J. The Trajectories of Prevention through Design in Construction. **Journal of Safety Research**, n. 39, p. 225–230, 2008. ISSN 0022-4375.
- [17] VASCONCELOS, B. **Segurança do trabalho no projeto de arquitetura**: diretrizes para o controle dos riscos de acidente na fase pós-obra. 2009. 121 p. Dissertação (Mestrado em Construção civil) – Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 2009.
- [18] VASCONCELOS, B.; SOEIRO, A.; BARKÓKEBAS, B. Prevention through Design: Guidelines for designers. **Second European Conference on Health and Safety Coordination in the Construction Industry**, 2011a.
- [19] _____. O Processo de Elaboração do Projeto de Estruturas no Projecto de Estruturas e a Segurança no Trabalho - The Structural design process and the Safety at Work. **2º Fórum Internacional de Gestão da Construção – GESCON 2011: Sistemas de Informação na Construção**. Porto: Universidade do Porto, 2011b. CD-ROM.

Análise da Influência da Composição granulométrica do resíduo de gesso nas propriedades do revestimento interno de parede

Cavalcanti, R. A. A.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
raac_pec@poli.br

Póvoas, Y. V.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
yeda.povoas@gmail.com

Resumo

O crescimento da Construção Civil na última década apresentou importantes agravantes, sendo um deles a geração de resíduos. Um dos materiais que apresentou crescimento expressivo em extração e aplicação foi o gesso. Seu uso como revestimento interno de parede tem aumentado e, conseqüentemente, a geração de resíduos também. Como a preocupação com o problema econômico e com o impacto ecológico é grande, torna-se necessário investigar a influência da composição granulométrica do resíduo na argamassa de gesso. Para a realização desta pesquisa, foi coletada amostra de gesso do mercado e o resíduo foi desenvolvido em laboratório. A relação água/gesso utilizada foi de 0,40. Foram estudadas três composições granulométricas do resíduo. A quantidade de finos foi diferenciada de modo a se analisar a influência da dimensão dos grãos bem como do percentual de resíduo adicionado. As argamassas formuladas atendem às exigências quanto às propriedades mecânicas, mostrando-se, inclusive, trabalhável.

Abstract

The civil construction's growth over the last decade showed important issues, being one of them the generation of wastes. One of the materials that presented significant growth in extraction and application was the gypsum. It's use as internal wall coating has increased and, consequently, the generation of waste as well. As concern about the economic problem and the ecological impact is large, it becomes necessary to investigate the influence of the residue's granulometric composition in the mortar of gypsum. For this research, samples were collected from the market and the residue was developed at the laboratory. The water/gypsum rate used was 0,40. Three residue granulometric compositions were studied. The amount of fines was differentiated in a way to analyze the influence of the size of the grains. It was also verified the influence of the percentage of residue added. The formulated mortars with the granulometric compositions meet the requirements as to mechanical properties, showing itself even workable.

1 Introdução

A construção civil é responsável por grande contribuição à economia brasileira e responsável por colocar no mercado de trabalho milhares de pessoas. No entanto, seu crescimento na última década apresentou importantes agravantes, como o alto consumo de matéria prima, a modificação da paisagem e ainda a geração de resíduos. Recentemente, os resíduos da construção civil têm se destacado pelo grande volume coletado diariamente nas grandes cidades, fruto do desperdício e da falta de gerenciamento ambiental.

A preocupação ambiental cresce com a geração de resíduos e entulhos em construções. Sendo assim, procurar também formas de reutilizá-lo é algo de vital importância para a sociedade. Em maio de 2011, a resolução Nº 431 do CONAMA (2011) definiu o gesso como classe B, que o torna reciclável.

A geração de resíduo do gesso de revestimento tem sido motivo de algumas pesquisas, seja de forma direta ou indireta. Como exemplo, pode-se citar as pesquisas de Schmitz; Póvoas (2009) [6] e Carneiro (1999) [3].

Em suas pesquisas, Schmitz e Póvoas (2009) [6] adicionaram o resíduo do gesso nos teores de 0 %, 5 % e 10 % em argamassas de gesso destinadas ao revestimento interno de parede e verificaram por meio de vários ensaios um resultado positivo no desempenho geral do material. No entanto, verificaram uma considerável redução no tempo útil de aplicação deste revestimento.

Em seu trabalho, Carneiro (1999) [3] estudou a composição granulométrica das areias para argamassas de cimento. O princípio para a composição e dosagem de uma argamassa com base na curva granulométrica está em obter uma argamassa trabalhável no estado fresco e que possua, no estado endurecido, uma compactidade elevada, com redução do volume de vazios e com capacidade de deformação (CARNEIRO, 1999) [3].

Além de contribuir nas propriedades nos estados fresco e endurecido, a dosagem racional do resíduo de gesso pode ser um meio importante para redução de custo na produção de argamassas, e na preservação de sua fonte de extração. Daí a necessidade de realização de um estudo específico de uma melhor composição granulométrica do resíduo para as argamassas de gesso destinadas ao revestimento interno de paredes.

2 Metodologia

Para a realização desta pesquisa, foi coletada amostra de gesso do mercado e seu resíduo foi formulado em laboratório, de acordo com o resultado do ensaio de consistência normal para o gesso puro, ou seja, ambos os gesso e resíduo tiveram a mesma relação água/gesso nos experimentos.

Para o procedimento de redução granulométrica do resíduo, utilizou-se um processo manual de baixa energia com auxílio de martelo de forma a se obter grãos de tamanhos variados.

Utilizou-se nos experimentos oito peneiras de dimensões 1,2mm, 0,84mm, 0,6mm, 0,425mm, 0,3mm, 0,212mm, 0,106mm e 0,075mm, que serviriam para realizar a composição granulométrica do resíduo, baseado no estudo de Carneiro (1999) [3], que utilizou uma razão de valor igual a 2 entre as peneiras. No processo de peneiramento, as peneiras foram agrupadas em dois grupos de quatro peneiras e dispostas em série num peneirador mecânico, onde permaneceram em agitação durante 20 (vinte) minutos.

Foram formuladas três composições granulométricas a partir do estudo de Carneiro (1999) [3]. Cada uma foi formulada para que se verificasse a influência da variação da quantidade de finos na argamassa e a influência de seu percentual.

Para que o procedimento fosse padrão, a relação a/g para todos os ensaios foi determinada pelo ensaio de consistência normal, conforme a norma MB 3469 (ABNT, 1991) [1].

Operando com o aparelho de vicat modificado, fez-se a leitura da escala, constatando-se uma penetração na pasta de 31 cm. Anotou-se a quantidade de gesso e água utilizados, conseguindo obter a relação água/gesso de 0,40.

Primeiramente foi feita a caracterização do gesso sem o resíduo, com a realização dos seguintes ensaios: granulometria a laser, com o equipamento Mastersizer Micro e tempo de pega - DIN 1168 (1975) [5].

Para avaliar a resistência à compressão e a dureza, moldaram-se corpos-de-prova segundo a NBR MB 3470 (ABNT, 1991) [2].

3 Resultados

O gesso estudado apresentou valores para tempos de início e fim de pega de 13,38 minutos e 27 minutos, respectivamente.

Para sua granulometria, o equipamento Mastersizer Micro apontou uma concentração de 80% para os grãos com até 75µm, visível na figura 1.

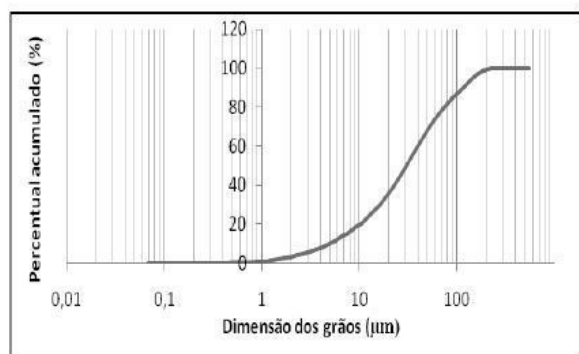


Fig 1. Distribuição granulométrica do gesso

Para determinação das composições granulométricas, tomou-se por base o trabalho de Carneiro (1999) [3]. Tomaram-se como referência apenas as peneiras relevantes para esta pesquisa, com diâmetro máximo de 1,2mm. Os percentuais restantes foram distribuídos igualmente entre as oito peneiras utilizadas.

A primeira composição granulométrica foi formulada utilizando todas as peneiras previamente citadas. Para a segunda composição, retirou-se a parcela correspondente aos finos, com granulometria abaixo de 600µm. Na terceira composição retirou-se a parcela correspondente aos grãos maiores que 600µm. As composições granulométricas para o resíduo de gesso a ser adicionado à argamassa estão apresentadas na tabela 1.

A adição do resíduo obteve o efeito esperado segundo os estudos de Schmitz e Póvoas (2009), que seria de redução da resistência mecânica (Quadro 1).

A presença dos finos, presente nas composições 1 e 3 melhoraram o empacotamento dos grãos durante a mistura, resultando em sua maior resistência mecânica, enquanto que a 2, aumentou a resistência com o aumento do percentual de resíduo. As composições 2 (5% e 10%) e 1 (5%) mostraram-se melhor trabalháveis, enquanto as demais apresentaram maior dificuldade de mistura e moldagem. Geralmente a redução do tempo de pega pelo aumento do percentual de resíduo diminui o tempo útil de aplicação, mas este fato não foi de grande relevância na composição 3.

Tabela 1. Composições granulométricas do resíduo.

Peneira (mm)	Percentual retido		
	Composição 1	Composição 2	Composição 3
0,075	0,50%	0,00%	1,00%
0,106	1,00%	0,00%	1,50%
0,212	1,50%	0,00%	2,00%
0,3	18,00%	0,00%	22,50%
0,425	27,00%	0,00%	39,50%
0,6	21,00%	37,00%	33,50%
0,85	19,00%	35,00%	0,00%
1,18	12,00%	28,00%	0,00%
total	100,00%	100,00%	100,00%

Quadro 1. Avaliação da resistência mecânica.

Composição	Resistência a compressão (N/mm ²)	Dureza (N/mm ²)
Gesso puro	9,59	17,49
1-5%	6,99	15,1
1-10%	6,04	14,62
2-5%	4,12	8,14
2-10%	6,27	14,77
3-5%	7,09	18,17
3-10%	5,45	11,75

4 Conclusões

A composição granulométrica interfere nas características físicas e mecânicas das argamassas de gesso. A trabalhabilidade foi prejudicada com o aumento do percentual de finos do resíduo. No entanto, o tempo útil de aplicação e a resistência mecânica melhoraram com o empacotamento dos grãos. Como ressalva, comenta-se que a resistência mecânica da composição 2 aumentou com a adição de 10% do resíduo. Sendo assim, torna-se necessário aprofundar o estudo verificando o comportamento da mistura e da resistência mecânica com o aumento do percentual de resíduo na ausência de finos.

O melhor resultado foi obtido para a composição 1 com 5% de adição de resíduo. A argamassa mostrou-se trabalhável; e o tempo útil e a resistência à compressão não foram muito diferentes dos resultados obtidos pela pasta de gesso.

Desta forma, mostra-se possível manipular a distribuição granulométrica da argamassa de forma a se obter resultados melhores de trabalhabilidade, tempo útil e resistência mecânica.

Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB 3469**. Gesso para Construção - Determinação das Propriedades Físicas da Pasta. Rio de Janeiro, 1991.
- [2] _____. **MB 3470**. Gesso para Construção – Determinação das Propriedades Mecânicas. Rio de Janeiro, 1991.
- [3] CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao Estudo da Influência do Agregado nas Propriedades de Argamassas Compostas a Partir de Curvas Granulométricas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999.
- [4] CONAMA. **Resolução no. 431**, de 24 de maio de 2011.
- [5] DEUTSCHE INSTITÜT FÜR NORMÜNG. **Building Plasters: Requirements, testing, control – DIN 1168: Part 2/1975**.
- [6] SCHMITZ, I. B. T. A.; PÓVOAS, Y. V.. Estudo do desempenho da pasta de gesso com adição de seu resíduo como revestimento interno de paredes. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2009, Curitiba. VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Curitiba, 2009.

Desenvolvimento de algoritmos de controle para o uso em quadricópteros com aplicações em enxames de robôs

Souza, D. A. B.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
dabs@ecomp.poli.br

Feitosa, M. A. F.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
marciliofeitosa@uol.com.br

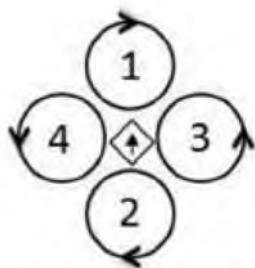
Resumo *Este artigo apresenta um design para modelar e construir um protótipo de um UAV quadrotor. Também são propostos alguns dispositivos elétricos e sensores a serem utilizados, mostrando suas características e necessidades no projeto. Para escolha dos dispositivos foram feitas comparações e estudos baseados em outros projetos.*

Abstract *This paper presents a model to design and build a prototype of a quadrotor UAV. Also are proposed some electric devices and sensors to be used, showing their characteristics and their necessities in the project. To choose the devices were made comparisons based in other projects.*

1 Introdução

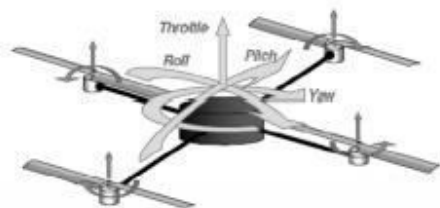
O estudo de UAV's (veículos aéreos não tripulados – do inglês Unmanned aerial vehicles) tem crescido bastante nos últimos anos. O tipo de UAV proposto nesse trabalho é o quadrotor, um equipamento composto por quatro motores e que tem se tornado muito popular devido à sua grande utilidade em diversas aplicações.

Na configuração de um quadrotor, quatro motores iguais são fixados nas extremidades de uma estrutura em forma de +, e no centro ficam os dispositivos de controle e sensoramento. Cada motor possui sentido de rotação específico, de modo que motores adjacentes sempre possuem sentido de rotação opostos.



Configuração de um quadrotor

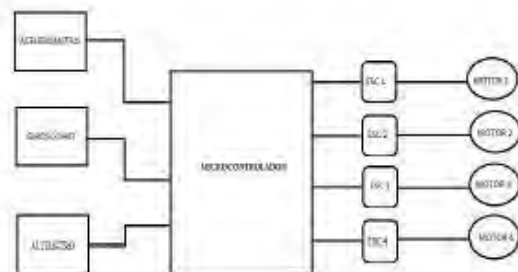
O controle de um quadrotor é feito através do ajuste das velocidades dos seus motores, e os seus movimentos são realizados através de alguns comandos: Throttle (aceleração) que é o movimento vertical, Yaw (guinada) é o movimento de rotação no eixo Z, Roll (rolagem) é o movimento de rotação no eixo X, e Pitch (arfagem) é o movimento de rotação no eixo Y.



Comandos de um quadrotor

O design de um projeto de um UAV é complexo e exige a integração entre controle e sensoramento. Na construção de um quadrotor são necessários: quatro motores; quatro ESCs (Controladores Eletrônicos de Veloci-

dade), sendo um para cada motor; uma unidade de processamento, que neste caso é uma placa com microcontrolador; uma unidade de sensoramento, que possui acelerômetro, giroscópio e altímetro.



Estrutura de um quadrotor

2 Algoritmos de Controle

Um quadrotor é um sistema que possui 6 graus de liberdade: três deles fazem referência a posição (x, y, z) e os outros três definem a orientação do veículo (θ, β, ω), que representam roll, pitch e yaw, respectivamente.

A relação entre as coordenadas (x, y, z) e os ângulos (θ, β, ω) formados pelos eixos é de independência. Um movimento através do eixo x , por exemplo, não implica, obrigatoriamente, em uma mudança de qualquer um de seus ângulos.

O vetor a seguir contém as coordenadas dos três eixos e dos três ângulos de liberdade do quadrotor:

$$\vec{q} = (\vec{p}, \vec{\alpha})$$

Onde

$$\vec{p} = (x, y, z)$$

$$\vec{\alpha} = (\theta, \beta, \omega)$$

Uma maneira de chegar às equações que representam a dinâmica de um quadrotor é utilizando o formalismo de Lagrange. A mecânica Lagrangeana (por possuir um sistema de coordenadas mais geral do que a mecânica newtoniana, por exemplo) consegue resolver problemas mais

complexos e discrimina fenômenos que podem atingir velocidades relativísticas (velocidades muito altas) com igual precisão daqueles com velocidades mais baixas.

O primeiro passo é definir o lagrangiano do sistema, que corresponde a soma das energias cinéticas subtraída de toda a energia potencial que atua no sistema.

$$L = \sum_{i=1}^N K_i - \sum_{j=1}^M U_j$$

onde K_i corresponde a energia cinética e U_j a energia potencial.

Em um quadrotor, as energias cinéticas que atuam no sistema correspondem aos movimentos de translação e rotação. Essa energia, segundo [9], é dada por:

$$K_{trans} = \frac{1}{2} m \dot{x}^2$$

e

$$K_{rot} = \frac{1}{2} I \dot{\theta}^2$$

onde $\dot{x}$ é a primeira derivada de x e corresponde a velocidade linear, $\dot{\theta}$ corresponde a velocidade angular, m é a massa e I corresponde ao momento de inércia do quadrotor.

O momento de inércia de uma partícula é dado por:

$$I = m r^2$$

onde m corresponde a massa e r à distância em relação ao eixo.

A única energia potencial presente no sistema é a energia potencial gravitacional, que é dada por:

$$U = m g h$$

em que h é a distância em relação ao chão.

O lagrangeano pode ser então reescrito como:

$$L = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} I \dot{\theta}^2 - m g h$$

Finalmente para encontrar as equações de movimento do sistema é necessário resolver a equação de Euler-Lagrange

$$\frac{\partial L}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} = 0$$

onde $\mathbf{F}$ é um vetor de forças e F_i é késimo componente dessa força. Resolvendo a equação de Euler-Lagrange para cada uma das coordenadas resulta nas seguintes equações:

$$\ddot{x} = -\sin \theta \ddot{\theta}$$

$$\ddot{\theta} = \cos \theta \sin \theta \ddot{x}$$

$$\ddot{y} = \cos \theta \cos \theta \ddot{x} - \ddot{\theta}$$

$$\ddot{\theta} = \ddot{x} \sin \theta + \ddot{\theta}$$

$$\ddot{\theta} = \ddot{x} \sin \theta + \ddot{\theta}$$

$$\ddot{\theta} = \ddot{x} \sin \theta + \ddot{\theta}$$

onde F_z corresponde a força produzida por todos os motores, $\ddot{x}$ é a aceleração no eixo x e assim por diante, J_{yy} representa o momento de inércia das rotações através do ângulo θ e assim por diante; $\ddot{\theta}$, $\ddot{\theta}$ representa os termos de Coriolis devido a rotação no eixo z; e $\ddot{\theta}$ corresponde ao torque presente no eixo x e assim por diante.

Com as equações de movimento definidas, será possível a implementação dos algoritmos de controle que podem ser baseados em diversas técnicas de inteligência artificial. Alguns projetos que utilizavam técnicas de redes neurais e lógica fuzzy foram analisados, mas a determinação da técnica a ser utilizada e o início do desenvolvimento dos algoritmos não foi realizados.

3 Motor

O motor escolhido foi o do modelo 2822, do fabricante E-max. É um motor do tipo brushless. Este tipo de motor vem sendo bastante utilizado nos últimos anos, esse crescimento se deve ao fato de que a transferência de energia aos seus enrolamentos não depende de um sistema de comutação interno, como nos tradicionais motores de corrente contínua, que geram muito ruído elétrico e desgaste interno. Além disso, esses motores possuem uma melhor relação peso eficiência do que os motores tradicionais.

Para fazer o controle da transferência de energia é necessária a utilização de um controlador de velocidade.

O E-max 2822 possui uma faixa de tensão entre 7,4 e 11,1V, consumo de corrente entre 7 e 12V, velocidade máxima de 1200 RPM/V e pesa 39gramas.

4 ESC

Os Controladores eletrônicos de velocidade ou ESCs (do inglês – *Electronic Speed Controllers*) são utilizados para transferir energia e controlar a velocidade dos rotores. No caso de quadrotores cada motor deve ser controlado por um ESC já que as velocidades dos quatro motores não variam de maneira uniforme.

O ESC mais apropriado foi o E-MAX 18A, pois atende as especificações do motor escolhido. Funciona a uma tensão de 11 V e pesa 22 gramas. Possui três entradas: duas delas devem estar ligadas a alimentação da bateria e a outra a um sinal PWM.

O sinal de entrada PWM deve ter um período de 20ms (50Hz) e a largura de pulso deve estar entre 1ms (motor desligado) e 2ms (motor funcionando a velocidade máxima), permanecendo em nível lógico baixo durante o restante do período.

5 Plataforma de desenvolvimento

A plataforma de desenvolvimento é composta pelo microcontrolador que é o cérebro por trás do projeto, será em sua interface que será implementado o programa que controlará a estabilidade de voo do quadricóptero, baseados nas informações recebidas da unidade de sensoriamento.

O microcontrolador ARM Córtex M3 foi definido como dispositivo a ser utilizado no projeto, graças ao seu grande potencial computacional e principalmente devido a sua compatibilidade com as necessidades de visão computacional.

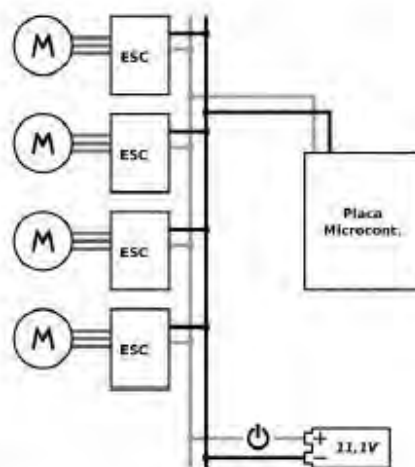
6 Placa de sensoriamento

A unidade de sensoriamento   responsável pelas informações como: posição, orientação e aceleração do UAV, que são utilizadas no controle do voo. É composta por aceler metro, giroscópio e altímetro.

O dispositivo tem voltagem de operação entre 1,8 e 3,6V, consome uma corrente de 10 μ A, possui interface I²C e dimensões de 5 mm x 5mm x 1,2mm.

7 Bateria

O modelo escolhido é o Thunder Power Pro Power 3S 30C 2250 mAh, pesa 170g e possui uma tensão de saída de 11 V, que será ligada em paralelo com os ESC's para alimentá-los, e também alimentar  o microcontrolador.



Esquema de ligação da bateria

A bateria definida   do tipo LIPO (do inglês - *Lithium-ion polymer*), este tipo possui uma densidade de carga maior que a das baterias de níquel, oferecendo uma maior duração de carga e um peso menor, características essenciais para projetos deste tipo. Esse tipo de bateria é o mais utilizado na maioria dos projetos analisados.

Estima-se que com a bateria completa o quadricóptero consiga se manter no ar por alguns minutos, não tendo sido feitos testes para poder afirmar por quanto tempo a bateria suporta alimentar o equipamento.

8 Conclusão

O design apresentado pode ser usado como base para construção de um quadrotor; A utilização de outros dispositivos pode ser feita de acordo com as necessidades específicas de cada projeto.

Referências

- [1] Alexandre Secchin de Melo. Implementação de um quadrotor como plataforma de desenvolvimento para algoritmos de controle. Master's thesis, Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.
- [2] Pounds, P., Mahony, R., and Corke, P., "Modeling and Control of a Quad-Rotor Robot", In Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation, 2006

- [3] Rahul Goel, Sapan M. Shah, Nitin K. Gupta, and N. Ananthkrishnan. Modeling, Simulation and Flight Testing of an Autonomous Quadrotor. Proceedings of ICEAE, pages 1–7, 2009.
- [4] David Alain, Análise de requisitos de hardware em projeto de UAV quadrotor. Trabalho de conclusão de curso, 2011
- [5] David A. do Nascimento, Cristóvão Z. Rufino, Sergio Campello Oliveira, Marcílio André Félix Feitosa, Modeling and Design of an Autonomous Unmanned Aerial Vehicle Quadrotor Prototype for Applications in Swarm of Robots, 2012

WiFi_Lab_2011_2

Nascimento, J. G.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
jgnss@ecom.poli.br

Albuquerque

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Edson

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo *Comunicação via WiFi apresenta-se atualmente como a mais promissora técnica de troca de informações via internet, por não ter cabos como fator atenuante e também por ser de fácil instalação tendo uma margem de cobertura bastante satisfatória. Assim, este trabalho tem como objetivo geral mensurar os níveis de interferência provocados por dispositivos que utilizam a tecnologia Wifi e que compartilham da mesma tecnologia para estabelecer conexão com outros dispositivos geograficamente próximos.*

Abstract Communication via WiFi presents itself today as the most promising technique for exchanging information via internet, not having cable as mitigating factors and because it is easy to install with a margin of coverage quite satisfactory. Thus, this study aims to measure general levels of interference caused by devices using WiFi technology and sharing the same technology to connect to other devices geographically close.

1 Introdução

Nos dias de hoje, vivemos numa sociedade norteadada pela comunicação, onde esta torna-se inerente à condição expressa de se manter atualizado e informado de tudo que acontece ao nosso redor.

Diante deste contexto, o homem no transcorrer do tempo visou formas cada vez mais eficientes e práticas de se comunicar e manter seu vínculo social permanentemente bem informado. O conceito de internet foi o grande marco tecnológico-social que permitiu que a comunicação abrangesse a grande maioria da população sendo o advento do conceito atual que temos sobre comunicação.

O advento da internet juntamente com as suas inexoráveis consequências no modo de agir e pensar da sociedade atual, modificando-o de forma definitiva, pode ser considerado como um acontecimento de impacto semelhante ao causado pela Revolução Industrial (segunda metade do século XVIII), tendo em vista as inúmeras e profundas transformações que esta última também impôs à sua época.

Assim o tema de pesquisa abordado neste trabalho surge como a mais promissora forma de interagir entre usuários espalhados por todo o mundo por uma série de motivos que serão explicitados no decorrer deste. Trata-se da tecnologia de comunicação via radiofrequência (Wifi) onde diversos aparelhos que utilizamos rotineiramente como celulares, computadores, rádios e etc fazem uso desta tecnologia.

Contudo percebeu-se que o crescimento exponencial destes dispositivos trouxeram também prejuízos a comunicação, pois o meio aéreo por ser comum a todos os aparelhos que fazem uso desta tecnologia acabam provocando perturbações na comunicação estabelecida em outras conexões que fazem uso da mesma tecnologia, chamado interferência ou mais comumente ruído.

2 Cenários Abordados

Quatro cenários distintos serão abordado neste trabalho, sendo estes:

1. Consistiu hipoteticamente de uma transmissão totalmente livre de interferência, o que se tornou bastante improvável visto que, o número de Access Points espalhados geograficamente em residências varia quase que na proporção de 1 para 1 o que deixa o meio aéreo bastante congestionado.

Assim, buscou-se num cenário real a menor sobreposição possível de canais evitando a interferência.

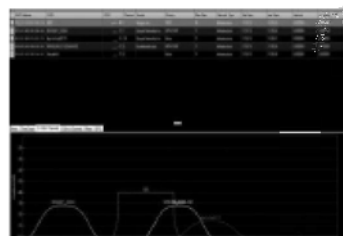


Fig 1. Sobreposição canal adjacente.

2. Consistiu de experimentos com a presença de um meio perturbador, por exemplo, dois Access points interligados com suas respectivas estações caracterizando assim redes domésticas diferentes, mas que se encontram espacialmente próximos e alocados no mesmo canal (mesma banda passante de frequência – interferência co-canal).



Fig 2. Sobreposição co-canal.

3. Consistiu em uma rede densamente povoada onde o Ap do experimento foi sintonizado na mesma faixa de frequência que a maioria das outras redes ocupava (Interferência co-canal) adicionalmente foi produzida uma interferência causada por dois celulares em comunicação via bluetooth posicionados nas extremidades do notebook de modo a se produzir a maior interferência possível nesta configuração



Fig 3. Sobreposição co-canal + bluetooth

4. O quarto e último cenário consistia em alocar na mesma faixa de frequência (co-canal) a rede WiFi e o dispositivo telefônico.



Fig 4. Sobreposição co-canal com telefone WiFi.

- Em todos os cenários foi utilizado um arquivo de vídeo .avi de 25MB para análise das transmissões.
- As variações do canal eram sempre realizadas por meio de uma avaliação do canal a qual a rede doméstica do experimento estava sintonizada e as demais redes do cenário.
- Devido ao fato do cenário ser densamente povoado não foi possível à realização de medidas num canal sem superposição.
- Em especial para o experimento 3, foi produzida uma interferência causada por transmissão via bluetooth onde um arquivo de aproximadamente 5 mb era enviado repetitivamente até que toda transmissão do arquivo de vídeo fosse completada. Assim durante toda a transmissão do vídeo havia uma interferência, além da produzida pela superposição de canais, originada pela transmissão bluetooth dos aparelhos celulares.
- Para o experimento 4, foi produzida apenas interferência co-canal entre o dispositivo telefônico e a rede WiFi utilizada no experimento.

3 Resultados obtidos

Tomou-se o parâmetro “erro” para composição deste esboço e dos gráficos plotados. Nota-se que o erro quando mencionado neste artigo é composto de vários tipos ES pecíficos(*TCP Retransmission, TCP Fast Retransmission, TCP Out-of-Order, TCP Dup ACK, TCP previous segment lost etc*) os quais são avaliados de forma singular e depois somados para composição da quantidade de erros final.

- Box plot – (Superposição co-canal (1) x Superposição canal Adjacente (2))

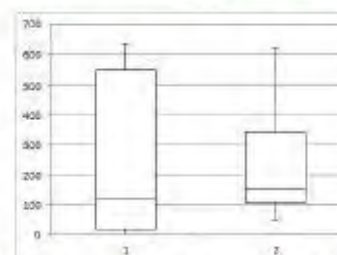


Fig 5. Gráfico comparativo co-canal x canal adjacente

- No cenário 1, é notável a grande variação de erros entre as medidas, fato este esperado pois por se tratar de canais com superposição é normal ter-se a comunicação interrompida devido ao fato de vários pontos utilizarem o mesmo conjunto de frequências. Assim a grande quantidade de erros, sobretudo os de retransmissão ficam evidenciados por este cenário onde claramente percebe-se o auto grau de dispersão e assimetria dos dados caracterizando assim uma transmissão bastante instável.
- No cenário 2, seguiu a tendência de diminuição e estabilização dos erros com uma considerável melhoria no numero de pacotes perdidos e ACK duplicados em relação ao cenário 1 devido ao fato de haver uma menor justaposição entre os canais deste cenário verificando-se também uma tendência de diminuição da dispersão e uma maior simetria entre os dados.
- Em ambos os cenários houve presença de Outliers, caracterizando pontos fora da margem de aceitação, o que pode ser justificado pela grande instabilidade da rede devido à justaposição de frequências por meio cenários co-canal ou sobreposição parcial

- Box plot – (Superposição co-canal e interferência bluetooth (1) x Superposição canal Adjacente (2))

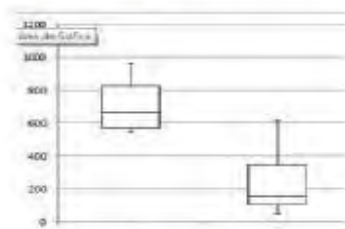


Fig 6. Gráfico comparativo co-canal + Bluetooth x canal adjacente

- Foi com grande surpresa que se percebeu força com que uma transmissão via bluetooth interfere em toda a faixa ISM 2.4Ghz algumas hipóteses foram levantadas e com a ajuda de um analisador espectral algumas conclusões foram feitas:
- Independentemente do cenário co-canal, canal adjacente, ou sem sobreposição a baixa relação sinal-ruído produzida pela transmissão bluetooth produziu grande quantidade de erros num mesmo patamar durante toda a transmissão de modo que a variação de canal deixou de ser um fator de grande relevância na análise na perda de pacotes.
- A suposição dada no item anterior é justificada pelo tipo de modulação com que dispositivos bluetooth transmitem. Devido ao fato de o bluetooth poder tanto receber quanto transmitir dados (modo full-duplex), a transmissão torna-se alternada entre slots para transmitir e slots para receber. Esse esquema é chamado "salto de frequência" (*frequency hopping*). Cada salto de frequência deve ser ocupado por um slot, sendo esses slots canais divididos em períodos de 625 μ s (microsegundos), logo, em 1 segundo, tem-se 1600 saltos. Assim, é perceptível com o uso do Wi-Spy que para uma proximidade inferior a 2m a interferência produzida por esses saltos "suja" toda faixa de frequência ISM 2.4Ghz fazendo com que a transmissão de um arquivo fique comprometida e por várias vezes interrompida como foi verificado no experimento.
- Fica claro assim que o Bluetooth por ter seu objetivo inicial ser projetado como um dispositivo de baixa potência e consumo elétrico para uso pessoal (WPAN) possui como fator limitante a distância na qual os aparelhos estão se comunicando de modo que alterações ruidosas produzidas pelo mesmo só passarão a ser relevantes

quando os mesmos tenderem a ficar muito próximos caso contrário a interferência não trará grande prejuízo para a rede WiFi.

- Curiosamente percebeu-se a força com que o dispositivo telefônico trabalhando na faixa de 2.4 Ghz interfere na rede WiFi a qual o notebook estava associado.
- Na interferência co-canal ou canal-adjacente, verificou-se que a relação sinal ruído mostrava-se suficientemente baixa que impedia a comunicação WiFi deixando a **conexão nula ou limitada**, segundo parâmetros do Windows 7. Variações de distância entre transmissor e receptor foram produzidas juntamente com o meio interferente e em todos os casos a conexão permaneceu sem acesso.
- Algumas hipóteses foram levantadas e juntamente com o uso do analisador espectral de frequência de 2.4Ghz (Wi-Spy) algumas conclusões foram notadas, dentre elas:
- Por tratar-se de telefone de 2.4 Ghz analógico, ocorre este problema da alocação de canal ser fixa de forma que toda a potência transmitida pela portadora fica alocada numa estreita faixa de frequência, aumentando sensivelmente o ruído nesta área.

4 Atividades Paralelas e Trabalhos Futuros

Até o presente momento, estabeleceu-se sob orientação do professor Edison de Queiroz Albuquerque reuniões periódicas (semanais ou quinzenais) devidamente registradas por extenso.

Em paralelo aos encontros e debates do projeto de iniciação científica ocorriam reuniões do **Grupo de Pesquisa em Protocolos de Redes) – GPPR** registrado no grupo de pesquisa do CnPq conforme o link: <http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/detalhegrupo.jsp?grupo=06143047JT0ALV> onde foram estudados e apresentados os seguintes temas:

- Protocolo Multicast.
- IPV4+
- Plataforma de simulação de (NS-2)
- Internet do Futuro
- Wifi-HD 802.15.3c
- Camada MAC do WiFi
- Experimento de interferência com telefone sem fio 2.4 Ghz
- Montagem e configuração de Access Point
- Cabeçalho do protocolo WiFi
- QoS para WiFi
- Arquitetura redes sem fio 802.11
- Central Voip Asterisk

Pretende-se a partir de agora intensificar ainda mais os testes de interferência fazendo uso do nosso laboratório WiFi, coisa que ainda não foi possível devido a infraestrutura não permitir testes mais sofisticados e por não haver ainda um laboratório de Redes.

Há o intuito de fazer testes de VoIP sobre WiFi e replicar o experimento de dissertação do Cavalcanti, Arthur Barreto August, 2009. “*Uma avaliação da interferência entre redes 802.11G*” para redes 802.11N conforme foi adquirido Ap’s para realização do mesmo.

Como também existe uma ideia de projeto juntamente com o grupo de pesquisa GPPR de desenvolver uma plataforma de análise para cobertura de sinal GSM avaliando os possíveis “pontos cegos” existentes em nossa cidade por meio de aparelhos celulares fazendo com que a comutação seja automática em celulares de vários chips quando um desses sinais encontra-se tênue o suficiente para impedir a comunicação.

5 Conclusões

Foi possível concluir com a elaboração deste artigo que a rede WiFi a qual utilizamos largamente para transmissão de voz e dados, é sem dúvida a tecnologia de comunicação via internet do futuro. Contudo, ficou evidenciado que este tipo de tecnologia torna-se muito suscetível a interferência de agentes externos sendo estes ora provenientes de tecnologias afins que utilizam o mesmo espectro de frequência ora por influências geográficas ou atmosféricas.

Referências

- [1] Wireless multimedia communications Convergence, DSP, QoS and Security K.R.RAO, Zoran S. Bojkovic, Dragorad A. Milovanovic
- [2] Wireless Quality of service. Maode Ma, Mieso K. Denko, Yan Zhang
- [3] Arthur Barreto August, 2009. “*Uma avaliação da interferência entre redes 802.11G*”

Reuso e Seus obstáculos na Engenharia de Software

Soares, L. S. L
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
lsls2@ecom.poli.br

Resumo *Reusar um trecho de código ou um componente para desenvolver um novo sistema é uma atividade antiga e corriqueira. Afinal, os profissionais da Tecnologia da Informação e Comunicação ambicionam softwares que atendam os limites de custo e tempo e satisfaçam seus clientes. O processo de reusar requisitos é uma das várias alternativas para reutilizar artefatos de software, porém não é comumente empregado de maneira sistemática e segura. Este trabalho apresenta conceitos importantes, dados sobre o status do reuso em 30 empresas locais e uma análise de vantagens e desvantagens do reuso.*

Abstract *Reuse a piece of code or a component to develop a new system is an old and commonplace activity. After all, the professionals of Communication and Information Technology aspire for softwares which comply to the limits of cost and time and win satisfied customers. The process of reuse requirements is one of several alternatives to reuse software artifacts, but it is not commonly used in a systematic and safe way. This paper presents important concepts, a poll opinion about the status of reuse in 30 local companies and an analysis of advantages and disadvantages on reusing.*

1 Introdução

O processo de desenvolvimento de software mudou consideravelmente nas últimas décadas para atender às necessidades do mercado competitivo. Assim como a indústria de *software* aumenta a sua capacidade de produção, também aumenta a demanda por sistemas mais baratos, eficientes, confiáveis e que podem ser atuar sobre fortes restrições (não apenas de custo, mas também de tempo). A maneira tradicional de desenvolver sistemas a partir do zero já não atende a estas demandas, e a indústria de software tem sofrido algumas modificações para tentar resolver estes problemas. E reuso de *software* é uma das alternativas.

Reuso de *software* é uma abordagem que visa criar novos sistemas a partir de sistemas já existentes, de forma a reduzir o esforço necessário para desenvolver e manter estes novos sistemas [3].

Essa parece uma solução clara e simples e que todo programador utiliza diariamente, entre ferramentas e algoritmos já inventados. Porém, eles reutilizam informalmente. A falta de reuso generalizado e sistemático é o problema na engenharia do reuso [4].

Muitas técnicas têm sido desenvolvidas para apoiar a reutilização [1]. Dentre estas técnicas podemos citar: frameworks [6], que são aplicados quando se identifica que existem várias características comuns entre as aplicações existentes, um framework é um esqueleto de um aplicativo que pode ser personalizado para uma determinada aplicação, servindo como uma espécie de guia relacionado com o projeto de classes abstratas envolvidas [7]; Linhas de Produtos (LP) de software, que se concentra no desenvolvimento de uma família de aplicações [8] e que orientam o desenvolvimento de produtos de artefatos existentes, ao invés de produtos separados (um por um); Padrões de projeto, que propõem uma documentação padronizada de uma solução recorrente, já bem testada, proporcionando uma especificação explícita de interações entre classes e objetos [9], entre outros.

Artefatos potencialmente reusáveis vão além de fragmentos de código. Podem ser dados de testes, arquiteturas, documentação, especificações de requisitos, ou quaisquer outros artefatos de desenvolvimento, uma vez que a definição para um bom reuso não é o reuso de *software* por si só, mas o reuso das ideias para solucionar problemas humanos [2].

Recentemente, desenvolvedores e gerentes perceberam que a reutilização de requisitos e arquiteturas de software pode trazer benefícios maiores do que os obtidos apenas com a reutilização de componentes de software individuais. Apoiados nesta tendência, os autores de [5], também da Universidade de Pernambuco, propuseram um

método para criar fragmentos requisitos genéricos visando sua reutilização. Seguindo outro viés, este trabalho foca no reuso de especificações de casos de uso.

2 Referencial Teórico

De acordo com [3], existem algumas dimensões relacionadas com as boas formas de reuso, são elas: abstração, seleção, especialização e integração.

- **Abstração:** esconde níveis de detalhe e implementação. Sem abstrações, o desenvolvedor teria de percorrer a coleção de artefatos reutilizáveis descobrindo o que cada um faz, quando poderia ser reutilizado e como seria reutilizado;
- **Seleção:** é processo onde o ator, construindo com reuso, compara e escolhe o que reusar a partir dos artefatos disponíveis.
- **Especialização:** é necessária no caso do elemento de reuso ser personalizado. Logo, a parte variável da abstração será utilizada para especializar de acordo com o que se deseja.
- **Integração:** consiste em combinar a coleção dos artefatos selecionados e especializados em um sistema completo.

A sequência destas dimensões não é por acaso. Este é o fluxo da construção que leva em consideração o reuso.

2.1 Abstração

Abstrair é generalizar, reduzindo o conteúdo da informação de um conceito ou fenômeno observável, normalmente para conservar apenas a informação que é relevante para um determinado propósito. Em [3] é esclarecido o conceito de abstração no reuso de *software*: uma abstração para um artefato de *software* é uma descrição sucinta que suprime os detalhes que não são importantes para um desenvolvedor de software e enfatiza a informação que é importante. Todas as abordagens para reutilizar software utilizam algum tipo de abstração, que é a característica essencial de qualquer técnica de reutilização.

A prática do reuso de software é dividida em dois eixos:

- **Construção para reuso:** consiste em identificar o conhecimento reusável, representá-lo de forma abstrata e o armazenar de forma indexada e classificada.

- Construção com reuso: consiste em buscar o conhecimento reusável e integrá-lo adaptando ao domínio específico de um novo sistema.

A partir da abstração diversas técnicas apresentam-se como boas oportunidades para dar suporte ao reuso, como por exemplo: a) Padrões de caso de uso, que são padrões (representados por especificações de caso de uso genéricas) cujo objetivo é ajudar a compreender a funcionalidade de um domínio de aplicação sobre o ponto de vista do usuário; b) Especificações de casos de uso, que são formas conhecidas e fáceis de ser usadas, tendo assim um bom potencial para documentar requisitos para reuso. E também os fragmentos de caso de uso [10], que contemplam além de especificações de caso de uso, regras e estruturas de dados a eles associados originando uma documentação mais completa.

3 Pesquisa local em reuso de software

Apesar de todo o potencial da reutilização de *software*, nem sempre é fácil colocar em prática. Algumas pessoas preferem construir a partir do zero ao invés de adaptar artefatos existentes construídos por outras pessoas. Com o objetivo de entender melhor a prática do reuso em empresas de desenvolvimento de software em Recife-Pernambuco-Brasil, uma pesquisa local foi realizada através de um questionário respondido por 50 pessoas (30 empresas), no período de janeiro a março de 2012. Esta pesquisa foi uma iniciativa do aluno de mestrado da Escola Politécnica de Pernambuco (UPE) Maurício Manuel Coelho Junior. Foram reunidas informações de profissionais de desenvolvimento e teste, analistas, designers e gerentes de TI. A maioria entre 5 a 10 anos de experiência e distribuídos em diversas áreas de atuação (Figura 1).

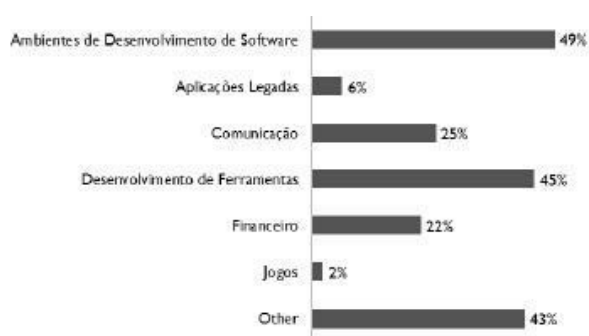


Fig 1. Áreas de atuação dos profissionais.

A partir dos resultados foi possível observar que a maioria das pessoas respondeu que durante o desenvolvimento, a reutilização de artefatos originados de projetos anteriores representa 25% a 50% do escopo. E a Figura 2 mostra a representação do reuso distribuído nas etapas de

desenvolvimento de *software* citadas pela amostra pesquisada.



Fig 2. Etapas de desenvolvimento de software onde é aplicado o reuso.

Em uma questão do tipo subjetiva os profissionais expressaram quais eram os principais desafios para praticar reuso. Entre as respostas mais esclarecedoras, estão:

- Falta de um processo definido pela empresa com seus colaboradores;
- Falta de catálogos de busca de artefatos e seleção eficiente;
- Conhecimento/maturidade da equipe;
- Falta de padronização no desenvolvimento;
- Desenvolver pensando em reuso.
- O tempo curto dos projetos não permite analisar bem o que pode ser reusado.

Mesmo com todas as dificuldades, a maioria dos profissionais respondeu que o reuso vale a pena, desde que feito com responsabilidade.

4 Vantagens e Desvantagens

O reuso de software trás muitas vantagens quando utilizado de maneira efetiva e sistemática. A padronização facilita o entendimento de conceitos que se encontram em domínios diferentes. E como o desenvolvimento não ocorre a partir do zero, há um aumento da velocidade de produção de software. Além de crescer a confiança quando o que você reutiliza já foi testado e aprovado e foi integrado o seu sistema de maneira segura.

Porém, o reuso pode gerar um aumento no custo com manutenção e existe um tempo para buscar, compreender e adaptar os artefatos potencialmente reusáveis. Em [11] essas desvantagens são explicadas a partir da visão dos usuários dos recursos de software reutilizáveis. Eles podem ser classificados em três grupos:

- Os desenvolvedores originais.
- Indivíduos na mesma organização.
- Pessoas em diferentes organizações.

Quando os recursos reutilizáveis são bem classificados e facilmente recuperáveis, qualquer um na mesma organização deve ser capaz de usá-los para o desenvolvimento de sistemas de software. Porém, reutilização de *software* por pessoas em diferentes organizações implica em problemas com padronização e direitos legais.

5 Conclusões

Através da literatura e por pesquisas com profissionais da grande área de Tecnologia da Informação e Comunicação foi possível identificar as dificuldades e o potencial intrínseco ao reuso de *software*.

Este artigo considera os problemas enfrentados ao reusar artefatos através de uma abordagem não sistemática; entre os problemas estão ambiguidade, redundância e inconsistências. Todos estes pontos tornam o *software* difícil de ser mantido e entendido, contribuindo para a produção de sistemas de baixa qualidade.

Entretanto, é possível afirmar que de maneira metódica e considerando todos os meios legais sobre licença e autorias de software, utilizar artefatos reusáveis torna-se uma atividade comum no dia-a-dia da maioria dos profissionais envolvidos no desenvolvimento de sistemas.

Referências

- [1] I. Sommerville, “Engenharia de Software”, Pearson Addison Wesley, 2007.
- [2] B. H. Barnes e T. B. Bollinger, “Making Reuse Cost-Effective”, IEEE Software, 1991, 8(1): 13-24.
- [3] C. W. Krueger, “Software Reuse”, ACM Computing Surveys, 1992, 24:131-183.
- [4] R. Pietro-Diaz, “Status report: software reusability”, IEEE Software, 10(3): 61-66
- [5] A. R. Araújo, M. Lencastre e D. S. Silveira, “A Method for the Creation of Requirements Fragments for Reuse in Information Systems”, 25º Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, 233-242, 2011.
- [6] M. Fayad e R. Johnson, “Building Application Frameworks: Object-Oriented Foundations of Framework Design”, John Wiley & Sons, 1999.
- [7] R. Johnson e B. Foote, “Designing Reusable Classes”, Journal of Object-Oriented Programming, 1:22-35, 1988.
- [8] P. Clements e L. Northrop, “Software Product Lines: Practices and Patterns”, Boston: Addison Wesley, 2002.
- [9] E. Gamma, R. Helm e J. Vlissides, “Design Patterns: Elements of Object-Oriented Software”, Addison Wesley, 1995.
- [10] F. G. Dias, E. A. Schmitz, M. L. M. Campos, A. L. Correa e A. J. Alencar, “Elaboration of Use Case Specifications: an approach based on Use Case Fragments”, ACM symposium on Applied computing, 614-618, 2008.
- [11] Y. Kim e E. Stohr, “Software reuse: issues and research directions”, Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences, 612-623, 1992.

Coordenação de Veículos Aéreos não Tripulados Utilizando Inteligência de Enxames

Luiz Felipe F. de Oliveira
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Diego M. P. F. Silva
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Carmelo J. A. Bastos Filho
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Autor2@meu-email

Resumo *Este artigo apresenta a análise de um modelo para a coordenação de veículos aéreos não tripulados (UAVs) utilizando uma abordagem de inteligência de enxames baseado no Particle Swarm Optimization. O modelo considera mecanismos de locomoção e anticolisão, comunicação ad hoc e informações do ambiente obtidas dos sensores do UAV. Foi analisada a performance em termos de rastreamento de alvos e escalabilidade. Um simulador foi desenvolvido com uma interface gráfica para permitir uma análise visual do enxame de UAVs.*

Palavras-Chave: *Inteligência de enxames; Modelos bio-inspiradores*

1 Introdução

Os Veículos Aéreos não Tripulados (UAVs, Unmanned Aerial Vehicles) têm recebido bastante interesse da comunidade científica nos últimos anos e, graças aos investimentos em computação embarcada, telecomunicações, sensores e redução de consumo de energia, estes estão cada vez mais capazes de desempenhar tarefas bastante complexas e sofisticadas. Como não são ocupados por nenhum humano, os UAVs são geralmente mais simples e de menor custo quando comparados com outros veículos aéreos, sendo adequados para missões longas e perigosas, como monitoramento de tráfego urbano, operações militares de busca e salvamento e patrulha de fronteira [1]. Existem vários tipos de UAVs para diferentes propósitos, como os exemplos mencionados anteriormente [2].

Inteligência de enxames (Swarm Intelligence) [3] [4] [5], que é um paradigma de inteligência computacional que utiliza inspiração biológica e é baseado em populações foi utilizada como abordagem na coordenação dos múltiplos UAVs. Tal abordagem possui ênfase em distributividade, interação direta e indireta, flexibilidade e robustez.

Para permitir que os UAVs se engajem em missões de longa duração, não tendo que ser recarregados frequentemente, o consumo de energia não deve ser alto. Dessa forma, uma comunicação de longo alcance, que por sua vez requer transmissores de alta potência, se torna inviável por conta do consumo de energia. Esse problema pode ser resolvido utilizando um paradigma de comunicação ad hoc, onde todos os UAVs podem funcionar como ponte de roteamento, ou seja, ao invés de transmitir a informação diretamente para o destino, a informação é transmitida para o UAV imediatamente vizinho, e assim sucessivamente até que a informação chegue ao destino.

Com o objetivo de analisar o comportamento dos enxames de robôs, uma ferramenta computacional que simula a inspeção de dutos submarinos utilizando inteligência de enxames em robôs aquáticos foi proposta em [6]. Este estudo mostra que múltiplos robôs podem realizar a inspeção de forma mais efetiva que um único robô e que, dependendo das características do ambiente, aumentar demasiadamente o número de robôs não gera benefícios adicionais relevantes, somente custos.

Um simulador de UAVs utilizando inteligência de enxame e considerando os aspectos de comunicação, colisão, afastamento e rastreamento de alvos auxilia também a guiar o projeto e configuração do enxame necessário para implantação real em campo. O relato de algumas experiências com UAVs, inclusive de implementação prática, podem ser verificados em [1] [7] [8]. Entretanto, nenhum desses trabalhos propôs um mecanismo de coordenação

autônomo de um enxame de UAVs considerando colisão, afastamento, comunicação ad hoc e rastreamento de alvos móveis ao mesmo tempo.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: o conceito de inteligência de enxames é introduzido na Seção II, os conceitos de enxame de robôs são apresentados na Seção III, os mecanismos e o comportamento do sistema proposto são apresentados na Seção IV, os resultados das simulações são apresentados na Seção V e as conclusões e trabalhos futuros são apresentados na Seção VI.

2 Fundamentos de Inteligência de Enxames e Otimização por Enxame de partículas

A metáfora de insetos sociais para solução de problemas se tornou uma linha de pesquisa em alta nos últimos 15 anos, visto que essa abordagem coloca em ênfase aspectos como distributividade, interação direta e indireta entre agentes relativamente simples, flexibilidade e robustez [9].

Inteligência de enxames teve sua origem a partir de estudos sobre colônias e enxames de organismos sociais simples. Um enxame pode ser descrito como uma coleção estruturada de organismos interativos (ou agentes), onde cada indivíduo é extremamente simples e o comportamento coletivo apresentado se torna bastante complexo. Este comportamento global do enxame emerge de maneira não linear através do comportamento dos indivíduos, existindo assim um forte acoplamento entre o comportamento individual e o comportamento do enxame. Dessa forma, o comportamento coletivo dos indivíduos especifica o comportamento do enxame e a interação entre indivíduos desempenha um papel fundamental para a emergência desse comportamento [3].

Os estudos em enxames de organismos sociais levaram à construção de algoritmos de otimização e agrupamento bastante eficientes [4], como a Otimização por enxames de partículas (PSO, Particle Swarm Optimization) e a Otimização por colônias de formigas (ACO, Ant Colony Optimization) [3].

O PSO, desenvolvido em 1995 por J. Kennedy e R. Eberhart, é uma técnica de otimização estocástica desenvolvida inicialmente com o intuito de simular graficamente o comportamento de um bando de pássaros [5].

Um aspecto que guia o PSO é a interação social, onde indivíduos dentro do enxame aprendem uns com os outros e, baseado no conhecimento obtido, cada indivíduo move-

se com o objetivo de tornar-se mais próximo de seus melhores vizinhos. Tal estrutura social é determinada pela formação de vizinhanças, onde os indivíduos dentro dos limites dessa Vizinhança, comunicam-se uns com os outros.

Existem diferentes tipos de vizinhanças que foram definidas e estudadas, como por exemplo: topologia em estrela (star topology) [10], onde cada partícula pode comunicar-se com qualquer outra dentro do enxame, formando um rede social totalmente conectada; e a topologia em anel (ring topology) [10], onde cada partícula comunica-se com o seus n vizinhos imediatos e o valor de n é um inteiro não negativo menor que o tamanho do enxame e maior que 1 (um). A noção de vizinhança é baseada no rótulo das partículas.

Em um enxame, cada partícula representa uma solução potencial. As partículas voam pelo hiperespaço, modificando seu posicionamento baseado em sua própria experiência e nas experiência de seus vizinhos. Cada partícula armazena as seguintes informações:

3 Fundamentos de Enxames de Robôs

Enxame de robôs é uma nova abordagem para coordenação de um grande número de robôs relativamente simples, autônomos, não controlados de maneira centralizada, capazes de se comunicar localmente e que operam baseados em inspiração biológica [11]. Inteligência de enxames de robôs pode ser entendida como uma propriedade de um sistema de robôs não inteligentes exibindo coletivamente um comportamento inteligente [12]. A aplicação dos princípios de inteligência de enxames em uma coleção de robôs pode ser denominada como enxame de robôs (Swarm robotics) [11].

Segundo [13], um enxame de robôs deve apresentar três propriedades funcionais que são observadas em enxames naturais e permanecem como propriedades desejadas em um sistema multi-robôs. São elas:

1. Robustez: capacidade de continuar suas operações apesar de distúrbios no ambiente ou falha de algum indivíduo
2. Flexibilidade: indivíduos com a habilidade de coordenar seus comportamentos de modo que sejam capazes de enfrentar tarefas de diferentes naturezas.
3. Escalabilidade: capacidade de operar com grupos de tamanho variados e em um amplo intervalo, suportando também um número demasiado grande de indivíduos sem gerar impacto considerável no desempenho.

Dentre essas propriedades, os maiores interesses nas pesquisas são a resolução de problemas de cobertura e exploração de ambientes de maneira eficiente, controle distribuído, difusão e interação.

4 Mecanismos do sistema proposto

Os UAVs foram modelados nesta pesquisa como agentes reativos simples com suas respectivas propriedades, percebendo o ambiente a partir de sensores, processando sobre as informações obtidas desses mesmos sensores e atuando no ambiente.

O processo de coordenação é similar ao processo de compartilhamento de informação do PSO. Esse artigo propõe uma adaptação do algoritmo de otimização PSO para ser utilizado na coordenação dos UAVs. Para a realização das atividades de patrulha e rastreamento, os UAVs devem possuir alguns mecanismos que serão descritos a seguir.

A. Mecanismos de Comunicação

A comunicação utilizada em robôs móveis, geralmente, é sem fio devido à característica dinâmica do ambiente. Embora existam UAVs que utilizam sistema de comunicação via satélite [14], neste simulador foi proposto um sistema de comunicação sem fio com uma topologia ad hoc, ou seja, cada UAV é uma ponte de roteamento. É importante observar que o sensor de comunicação influencia a locomoção do UAV com o objetivo de evitar a perda de comunicação.

B. Mecanismos de Localização

Os UAVs possuem o objetivo de patrulhar o ambiente em que se encontram e rastrear eventuais alvos. Os UAVs podem armazenar uma representação do ambiente em que se encontram por meio de um mapa ou apenas possuir o conhecimento de sua localização no ambiente. No modelo proposto, cada UAV possui o conhecimento de sua localização no ambiente o que o possibilita locomover-se no ambiente, tomar decisões, retornar à base, evitar colisões e sair de seu espaço aéreo, rastrear possíveis alvos e atuar de maneira a manter-se conectado aos seus vizinhos.

C. Mecanismo anti-colisão

O UAV possui um sensor anti-colisão para possibilitar uma locomoção segura através do ambiente. Obstáculos podem ser entendidos como, por exemplo, estruturas fixas e outros UAVs.

D. Mecanismo de percepção do ambiente

O sensor de percepção ambiental é utilizado para possibilitar a detecção de alvos no ambiente e permitir que o UAV inicie o rastreamento dinâmico desses alvos.

E. Mecanismo de locomoção

O sensor de percepção ambiental é utilizado para possibilitar a detecção de alvos no ambiente e permitir que o UAV inicie o rastreamento dinâmico desses alvos.

- Sincronismo: Com o objetivo de atuar no sentido de afastamento para evitar colisões ou no sentido de aproximação para evitar a perda de comunicação;
- Cognição: Com o objetivo de patrulhar de maneira estocástica ou com o objetivo de perseguir e comunicar as posições dos alvos dependendo do estado em que se encontra;

5 Resultados

Para as simulações foram utilizados três conjuntos experimentais, descritos a seguir:

A. Conjunto experimental 1

Tem como objetivo analisar a escalabilidade do modelo proposto em função do número de UAVs utilizando 5 alvos e observando as seguintes métricas:

- CL: Percentual de colisões ocorridas. Essa métrica é calculada pela diferença da quantidade de UAVs no início com a quantidade de UAVs no fim em relação à quantidade de UAVs no início;
- CA: Percentual da cobertura territorial realizada pelos UAVs durante o tempo de simulação. Essa métrica é calculada a partir da divisão da área do ambiente em sub-áreas quadradas de lado igual ao diâmetro do raio de percepção do UAV. Se a distância entre o UAV e o centro de qualquer sub-área é menor ou igual ao raio de alcance do sensor de percepção, então essa sub-área é contabilizada. Ao final, é dividido a soma das sub-áreas contabilizadas pela área total do ambiente. Ao definir o parâmetro Número de iterações para recalcular a área de cobertura, a contagem é reiniciada;
- TT: Percentual de alvos rastreados pelos UAVs durante o tempo de simulação. Essa métrica é calculada dividindo a quantidade de alvos em rastreamento pela quantidade total de alvos.

A Tabela I contém os valores dos parâmetros do ambiente que foram mantidos constantes durante este experimento. Para a quantidade de UAVs foram utilizados os valores: 1, 5, 20, 40, 60 e 80.

A seguir se encontram os gráficos com os resultados do Experimento 1. A Figura 1 apresenta os resultados obtidos para as métricas de (a) alvos rastreados, (b) área de cobertura territorial e (c) colisões.

Analisando os dados na Figura 1 (a), o aumento do número de UAVs resulta numa quantidade maior de alvos rastreados. O mesmo pode ser observado em (b), onde a cobertura territorial aumenta de acordo com o aumento de UAVs. Em (c), a quantidade de colisões aumenta um pouco quando o número de UAVs é maior que 20, mas ainda assim se mantém praticamente constante.

Os resultados obtidos no Experimento 1 indicam que o aumento no número de UAVs aumenta a efetividade do sistema no que diz respeito à quantidade de alvos rastreados e à área de cobertura territorial. Pode-se também concluir que múltiplos UAVs executam atividades de rastreamento e patrulha melhor que apenas um UAV.

Parâmetro	Valor
Área do ambiente	10.000 m ²
Velocidade máxima dos UAVs	5 m/s
Fator de inércia dos UAVs	1
Aceleração máxima dos UAVs	1,5 m/s ²
Aceleração cognitiva dos UAVs	1,0
Aceleração social dos UAVs	3,0
Raio de extensão dos UAVs	10,0 m
Raio de alcance do sensor anti-colisão	1.000 m
Limiar do sensor do sensor anti-colisão	100 m
Segurança do sensor anti-colisão	300 m
Raio de alcance do sensor de percepção	1.000 m
Limiar do sensor de percepção	75,0 m
Raio de alcance do sensor de comunicação	1.000 m
Limiar do sensor de comunicação	900,0 m
Segurança do sensor de comunicação	800,0 m
Número máximo de comunicações	2 m
Quantidade de alvos	5
Velocidade máxima dos alvos	7,0 m/s
Aceleração máxima dos alvos	1,5 m/s
Quantidade de obstáculos	2
Raio de extensão dos obstáculos	10,0 m
Número de simulações paralelas	30,0
Número de iterações para recalcular a área de cobertura	500
Número de iterações	100.000

Tabela I
TABELA 1: PARÂMETROS MANTIDOS CONSTANTES NO CONJUNTO EXPERIMENTAL I.

B. Conjunto experimental 2

Este conjunto experimental tem como objetivo analisar o desempenho do modelo observando-se a métrica TT em função da velocidade relativa entre alvos e UAVs. Foram considerados 1, 3 e 5 alvos. A seguir se encontram os gráficos com os resultados do Experimento 2. A Figura 2 apresenta a métrica TT em função da velocidade relativa

entre alvos e UAVs para um alvo na Figura 2 (a), três alvos em (b) e cinco alvos em (c).

Analisando os dados na Figura 2, quando a velocidade relativa entre os alvos e UAVs é menor que 1 observa-se que a métrica TT mantém-se praticamente constante e próximo dos 100

Para cinco alvos foi observado um comportamento interessante: os UAVs competem entre si por um mesmo alvo e ignoram outros possíveis alvos no ambiente. Isso ocorre devido à modelagem do sistema, onde a velocidade dos UAVs tende à velocidade dos alvos. Como consequência, quanto mais lentos os alvos estiverem, mais lentos estarão os UAVs. Este problema pode ser resolvido com o uso de mecanismos colaborativos, levando os UAVs a não rastrear os alvos que já estão sendo rastreados pelos vizinhos.

C. Conjunto experimental 3

Este conjunto experimental tem como objetivo analisar a eficácia do modelo observando-se a métrica TT em função do número de UAVs, com velocidade relativa entre alvos e UAVs igual a 0,8. Foram considerados 1, 3 e 5 alvos. Na Figura 3 se encontram os gráficos com os resultados do Experimento 3, com a métrica TT em função do número de UAVs para um (a), três (b) e cinco alvos (c).

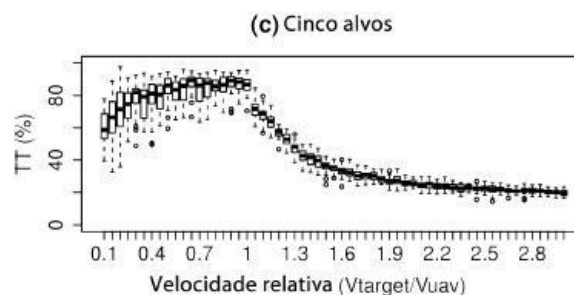
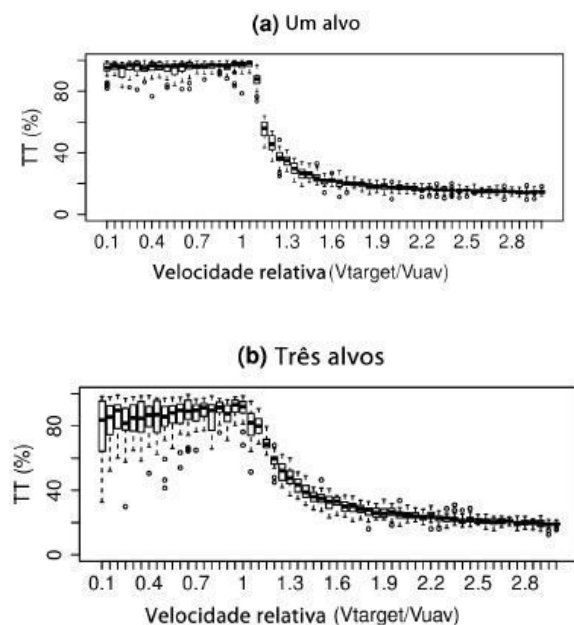


Figura 1. Experimento 1: Análise de CA (a), TT (b) e CL (c) em função do número de UAVs.

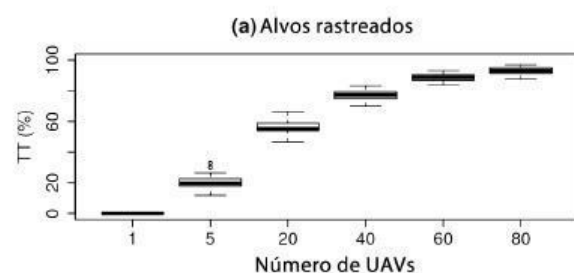
Analisando os dados na Figura 3, pode-se observar que 10 alvos já são suficientes para um rastreamento eficaz se houver apenas alguns alvos, porém serão necessários mais UAVs se o número de alvos for maior. Por exemplo, seriam necessários pelo menos 20 UAVs para um rastreamento eficaz de cinco alvos.

6 Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho está sendo possível analisar e visualizar o comportamento coordenado de múltiplos UAVs utilizando inteligência de enxames em uma rede de comunicação ad hoc.

As estratégias e mecanismos adotados, juntamente com os resultados obtidos, evidenciam a possibilidade de avaliar previamente a utilização de UAVs em atividades de patrulha territorial e rastreamento de alvos móveis simultaneamente. Durante todas as simulações realizadas, nenhum UAV invadiu o espaço aéreo vizinho.

A utilização de inteligência de enxames e a topologia de comunicações ad hoc para coordenação dos UAVs provou



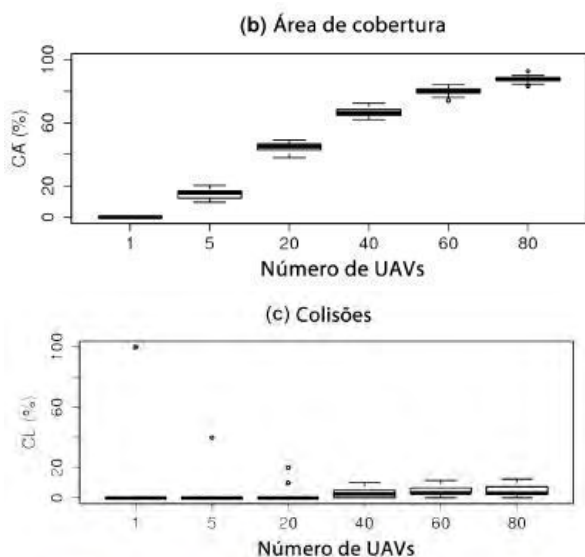


Figura 2. Experimento 2: Análise da quantidade do percentual de alvos rastreados (TT) em função da velocidade relativa entre os alvos e UAVs para um (a), três (b) e cinco alvos (c).

serem boas escolhas, indicando ser uma boa alternativa na resolução de problemas de cobertura e exploração territorial, controle distribuído, difusão e interação em sistemas multirobôs.

De forma específica, foi possível observar um comportamento não desejado de competição entre os UAVs quando a velocidade relativa é mais baixa, o que pode causar uma diminuição no percentual de alvos rastreados.

A análise dos resultados também indica a escalabilidade do sistema, pois a métrica CL não aumentou significativamente no intervalo de 1 a 80 UAVs, mas permaneceu praticamente estável e com baixo desvio padrão.

Para os trabalhos futuros fica a possibilidade de configurar as posições dos UAVs, dos alvos e dos obstáculos em posições configuráveis, pois no momento as posições destes no ambiente são geradas de maneira aleatória. Fica também como trabalho futuro o aprimoramento do estado de patrulha e rastreamento de modo a evitar a competição entre os UAVs por um mesmo alvo.

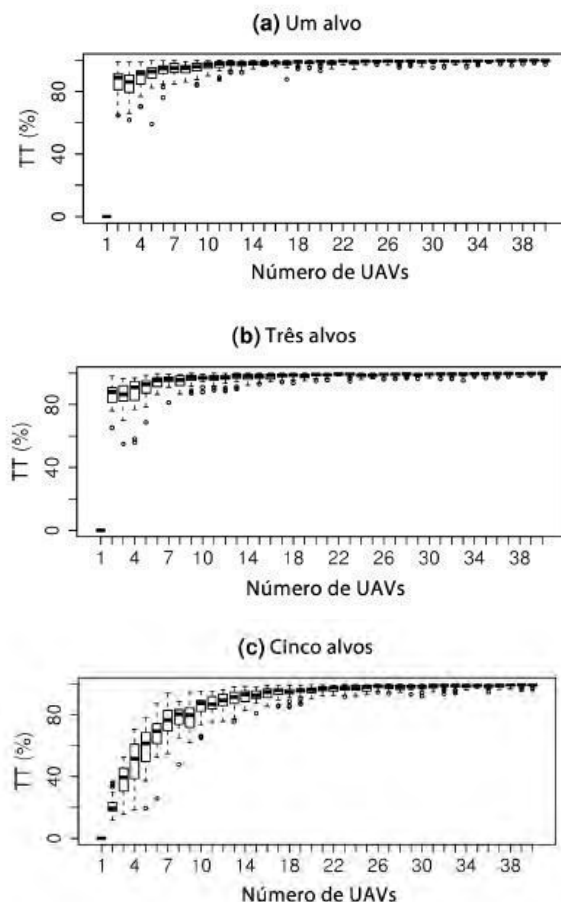


Figura 3. Análise do percentual de alvos rastreados (TT) em função do número de UAVs para um (a), três (b) e cinco alvos (c).

Referências

- [1] BETHKE, B. Persistent Vision-Based Search and Track Using Multiple UAVs. Dissertação (Mestrado) — Massachusetts Institute of Technology, jun. 2007.
- [2] GOEBEL, G. Unmanned Aerial Vehicles. Acessado em: Outubro de 2011. Disponível em: <<http://www.vectorsite.net/twuav.html>>.
- [3] ENGELBRECHT, A. P. Computational Intelligence An Introduction. 1. ed. West Sussex, Inglaterra: Wiley, 2002.
- [4] KENNEDY, J.; EBERHART, R.; SHI, Y. Swarm Intelligence. 1. ed. San Francisco, Califórnia, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2001.

- [5] KENNEDY, J.; EBERHART, R. Particle swarm optimization. In: Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. Perth, WA , Australia: IEEE, 1995. v. 4, p. 1942–1948.
- [6] PORTELA, M. Simulação de robôs aquáticos utilizando inteligência de enxames para inspeção de dutos submarinos. 2009. 67 p. Trabalho de conclusão de curso - Engenharia da Computação, UPE, Recife-PE.
- [7] SINSLEY, G. et al. An intelligent controller for collaborative unmanned air vehicles. In: IEEE Symposium on Computational Intelligence in Security and Defense Applications. Honolulu, HI: IEEE, 2007. p. 139–144.
- [8] J. P. How, E. K.; KUWATA, Y. Flight demonstrations of cooperative control for uav teams. In: Proceedings of 3rd Unmanned Unlimited Technical Conference, Workshop and Exhibit. Chicago, IL: AIAA, 2004. p. 505–513.

Aplicação de Algoritmos de Visão Computacional para UVAs em Missões de Busca

Alcoforado, M. S.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
msa@ecomp.poli.br

Fernandes, B. J. T.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

Síntese e análise de textura tem uma variedade de aplicações em Visão Computacional, e Processamento de Imagens, como por exemplo recuperação de imagens por imagem (CBIR, Content-Based Image Retrieval). Este trabalho apresenta a aplicação de redes neurais autoassociativas motivadas por teorias a respeito do cérebro humano em tarefas de análise de textura. O objetivo é a implementação do modelo proposto em um Veículo Aéreo Autônomo (UAV, Unmanned Aerial Vehicles).

Abstract

Texture analysis and synthesis has a variety of applications in Computer Vision and Image Processing, such as image retrieval image (CBIR, Content-Based Image Retrieval). This paper presents the application of autoassociative neural networks motivated by theories about the human brain in tasks of texture analysis. The main purpose is to implement the proposed model in Autonomous Aerial Vehicles (UAV, Unmanned Aerial Vehicles).

1 Introdução

Veículos aéreos autônomos (UAV, "Unmanned Aerial Vehicles") [1] têm sido aplicados nos mais diferentes contextos objetivando problemas com necessidade de sensoriamento remoto e missões de busca automatizadas. A visão computacional tem sido utilizada para resolver problemas específicos da área como medição de posicionamento relativo [2], pouso [3] e visão cooperativa para construção de mapas únicos a partir de imagens capturadas por vários UAVs [4]. Os avanços das técnicas de processamento de imagens [5] e reconhecimento de padrões [6] formaram a base para o surgimento de novas técnicas e algoritmos de visão computacional. Os UAVs podem então ser beneficiados por tais estudos na construção de métodos de exploração inteligente, vôo com obstáculos e identificação de objetos são possibilitados na plataforma do UAV. Este é o foco de desenvolvimento deste trabalho, que visa à aplicação de técnicas de visão computacional em missões de busca utilizando UAVs.

Redes Neurais Artificiais (RNAs) vêm sendo utilizadas para os diversos campos da computação [7], sendo um destes campos a visão computacional, com diversas finalidades, como reconhecimento de padrões, filtros, navegação de robôs, etc. Neste trabalho, a RNA foi utilizada para auxiliar no trabalho de Visão Computacional, na área de Reconhecimento de Texturas, mais especificamente direcionados a UAVs.

2 Análise de Textura

Definido o processo da metodologia utilizada para a curva de *recall* e os detalhes sobre utilizadas neste trabalho podem ser analisadas. A Descrição de Textura é tratada em Pedrini [8] e Gonzalez [5] relacionando vários cálculos com bases estatísticas a fim de obter valores das características.

Porém, a nível experimental, previamente utilizado à descrição, é preciso demonstrar como funciona o filtro de Gabor, o filtro que foi utilizado para obter uma melhor caracterização das imagens retirando os seus ruídos (Afshang [11]).

2.1 Filtro de Gabor

Explorado por Afshang [11], o filtro de Gabor é uma técnica que pode ser utilizada para melhorar o resultado obtido na curva de *recall* (Zhang [14]). Sua aplicação diminui consideravelmente o ruído na imagem dependendo dos parâmetros nele utilizados.

Matematicamente, para utilização de qualquer filtro em uma imagem, basta que, depois de calculado sua máscara, uma operação de convolução seja realizada entre o sinal da imagem com o sinal do filtro. Feito este processo, uma nova imagem filtrada é retornada. Na equação 1, a fórmula do Filtro de Gabor.

$$\exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \exp(i2\pi f_0 x) \quad (1)$$

Para facilitar sua programação, a regra de Euler deve ser aplicada, como mostrado na equação 2.

$$\exp(i2\pi f_0 x) = \cos(2\pi f_0 x) + i \sin(2\pi f_0 x) \quad (2)$$

Este filtro é composto a partir do produto entre uma função gaussiana e uma função harmônica (seno/cosseno). Nela, temos quatro parâmetros: σ^2 e σ^2 são os desvios padrões que vêm da equação gaussiana, f_0 é a frequência da função harmônica definida sobre a função de gabor e i representa a indicação, e nele que se define se o filtro terá um bom resultado ou não, como demonstrado nas fig. 2.

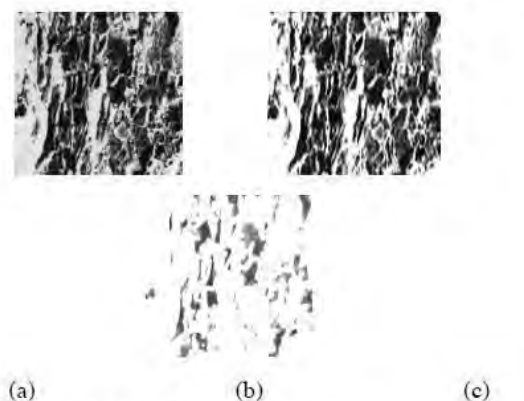


Fig 2. (a) Imagem Original. (b) e (c) Imagens Filtradas com o Filtro de Gabor.

Na fig. 2.b o filtro foi utilizado com os parâmetros corretos. Por outro lado a fig. 2.c teve uma utilização errônea do filtro. Como é possível notar, o primeiro resultado foi muito mais satisfatório que o segundo. A diferença entre eles deve-se a orientação escolhida para cada caso, $\theta = \theta / 10$ e $\sigma = \sigma / 2$ respectivamente. Tais números dados aos parâmetros foram puramente experimentais, já que para algumas imagens essa variação na indicação pode mudar de

imagem para imagem, assim como os desvios e frequências. Para os resultados desta pesquisa, foram utilizados os parâmetros: desvios padrões foram fixados em 4 e 20 para x e y respectivamente, frequência em 20 e indicação em $\square/3$ (Afshang, [11]).

2.2 Descritores de Textura Baseados na Matriz de Co-ocorrência

Após o estudo sobre o filtro de Gabor, o foco deste trabalho prossegue para seu problema central: a descrição de texturas. Iniciando pelos descritores baseados na matriz de co-ocorrência, propostos por Haralick [9]. Apesar de serem antigos, seus descritores são utilizados como referência em muitas pesquisas recentes que visam à descrição da textura (Abbadeni [10]). Foram propostas mais de 14 propriedades de características, porém Baraldi [13] mostrou que apenas seis eram realmente relevantes. Desses seis, cinco descritores foram programados: Máxima Probabilidade, Contraste, Homogeneidade, Uniformidade e Correlação.

Para poder calculá-los, é necessário obter a matriz de co-ocorrência $\square\square, \square$. Ela é obtida através da frequência entre tons vizinhos. O armazenamento dessas frequências é feito como mostrado na fig. 3.

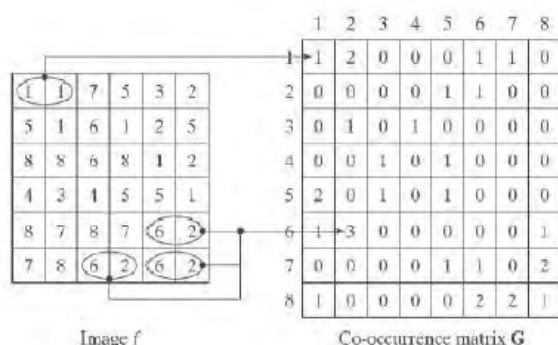


Fig 3. Imagem ilustrativa do cálculo da matriz de Co-ocorrência G, retirada de Gonzalez [5].

Calculada a matriz G, é necessário realizar sua normalização, dada como mostrado na equação 3.

$$P(i, j) = \frac{G(i, j)}{\sum_{i,j} G(i, j)} \quad (3)$$

Onde $\square$ é a soma das frequências entre os tons de cinza. Depois de calculada a Matriz de coocorrência da imagem, a descrição pode ser calculada. Na página seguinte, uma síntese dos descritores estudados, propostos por Haralick [9], com suas respectivas equações:

1. Máxima Probabilidade: Medida mais simples proposta por Haralick [9], consta na observação do maior valor contido na matriz de coocorrência e é dada pela equação 4.

$$P_{max} = \max_{i,j} (P(i, j)) \quad (4)$$

2. Contraste: Quando uma imagem apresenta alta frequência entre tons de cinza altos e baixos possui um alto contraste. Em termos da matriz de co-ocorrência, quanto há uma alta concentração de elementos em torno da diagonal principal. Seu cálculo é dado pela equação 5.

$$C = \frac{1}{P(i, j)} \sum_{i,j} (i - j)^2 P(i, j) \quad (5)$$

3. Homogeneidade: Mede a descrição dos pixels. Quanto mais homogênea a textura, maior seu valor de homogeneidade. Essa medida é apresentada uma correlação inversa com o contraste, pois possui maior concentração na diagonal principal da matriz de co-ocorrência e é dada pela equação 6.

$$H = \frac{1}{P(i, j)} \sum_{i,j} \frac{1}{1 + |i - j|} P(i, j) \quad (6)$$

4. Segundo Momento Angular ou Uniformidade: Como já dito em seu nome, este descritor mede a uniformidade de uma imagem. Em termos de matriz de co-ocorrência, ela possui seus valores bem distribuídos ao longo da mesma. Sua fórmula é definida pela equação 7.

$$U = \frac{1}{P(i, j)} \sum_{i,j} \frac{1}{1 + |i - j|^2} P(i, j) \quad (7)$$

5. Correlação: Mede a dependência linear entre dois tons de cinza. Valores altos desta característica indicam uma existência linear entre os pares de tons de cinza. É dada pela equação 8.

$$R = \frac{1}{P(i, j)} \sum_{i,j} (i - \bar{i})(j - \bar{j}) P(i, j) \quad (8)$$

6. Onde $\square\square\square\square$ é dado pelas equações 9.

$$\bar{i} = \frac{1}{P(i, j)} \sum_{i,j} i P(i, j) \quad \bar{j} = \frac{1}{P(i, j)} \sum_{i,j} j P(i, j) \quad (9)$$

2.3 Descritores de Textura Baseados Função de Autocorrelação

Em janeiro de 2011, Abbadeni [10] teve o seu artigo publicado, propondo novos descritores de texturas baseados na função de autocorrelação. Dois de seus descritores foram estudados. Porém, antes de começar a tratar sobre os seus descritores, um estudo em cima da função de autocorrelação foi necessário. Sua fórmula é dada pela equação 10.

$$C(x, y) = I(x) - I(x+y) - I(x-y) \quad (10)$$

Onde I é a matriz representando os valores de pixels da imagem, $0 \leq x < M$ e $0 \leq y < M$. x e y representam o mapeamento das linhas e colunas da função, respectivamente. Diferentemente da Matriz de Co-ocorrência, que realiza suas operações com relação a frequência entre pixels vizinhos, a Função de Autocorrelação verifica a interação entre regiões. Abbadeni [10] a escolheu por causa de sua periodicidade equivalente e que tem como característica uma lenta diminuição apresentando poucas variações.

1. Rugosidade: De acordo com o Abbadeni [10], a própria função de autocorrelação por si só, já traz informações de rugosidade. A dedução e explicação, disponíveis em seu trabalho, mostram que esta característica depende da quantidade de máximos presentes na função de autocorrelação. É dada pela equação 11.

$$R = \frac{1}{M^2} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{M-1} C(x, y) \quad (11)$$

Onde $C(x, y)$ e $C(x, y)$ foram obtidos pelo cálculo dos máximos utilizando derivadas parciais em x e y da função de autocorrelação, respectivamente.

2. Ocupação: Possui uma relação inversa com a rugosidade. É calculada a partir do resultado obtido na Rugosidade de uma dada imagem. Seu cálculo é dado pela equação 12.

$$O = 1 - R \quad (12)$$

Onde $M=4$, segundo Abbadeni [1], dentre os vários valores testados, este foi o que obteve melhores resultados.

3 Redes Neurais

Redes Neurais Artificiais (RNAs) são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência. As redes neurais, ou redes artificiais de neurônios, foram desenvolvidas a partir de uma tentativa de criar em computador, a partir de estudos neurobiológicos, um modelo computacional que simule a estrutura e funcionamento do cérebro humano. Assim como o sistema nervoso é composto por bilhões de células nervosas, a RNA também seria formada por unidades que nada mais são que pequenos módulos que simulam o funcionamento de um neurônio. Estes módulos devem funcionar de acordo com os elementos em que foram inspirados, recebendo e retransmitindo informações.

Um neurônio artificial é capaz de um único processamento. Cada entrada recebe somente um tipo de sinal ou informação. Como um neurônio pode possuir várias entradas, então ele pode perceber diferentes sinais. Porém, ligar vários neurônios similares em rede, faz com que (10) o sistema consiga processar mais informações e oferecer mais resultados.

Com esse objetivo, cria-se uma rede em camadas, também conhecida como Perceptron Multicamadas (Multilayer Perceptron – MLP). Usualmente as camadas são classificadas em três grupos:

- **Camada de Entrada:** onde os padrões são apresentados à rede;
- **Camadas Intermediárias ou Ocultas:** onde é feita a maior parte do processamento, através das conexões ponderadas; podem ser consideradas como extratoras de características;
- **Camada de Saída:** onde o resultado final é concluído e apresentado.

A arquitetura de uma rede MLP, também denominada rede Feed Forward de múltiplas camadas, contém pelo menos uma camada intermediária entre as camadas de entrada e de saída. A figura 4 apresenta a arquitetura de uma rede MLP.

A propriedade mais importante das redes neurais é a habilidade de aprender em seu ambiente, e com isso melhorar seu desempenho. Isso é feito através de um processo iterativo de ajustes aplicado a seus pesos, o treinamento. O aprendizado ocorre quando a rede neural atinge uma solução generalizada para uma classe de problemas. Como citado anteriormente, o modelo de aprendizado utilizado na MLP, durante a iniciação científica, foi o autoassociativo.

A escolha do mesmo foi motivada pelo modelo do livro *On Intelligence* do autor Jeff Hawkins.

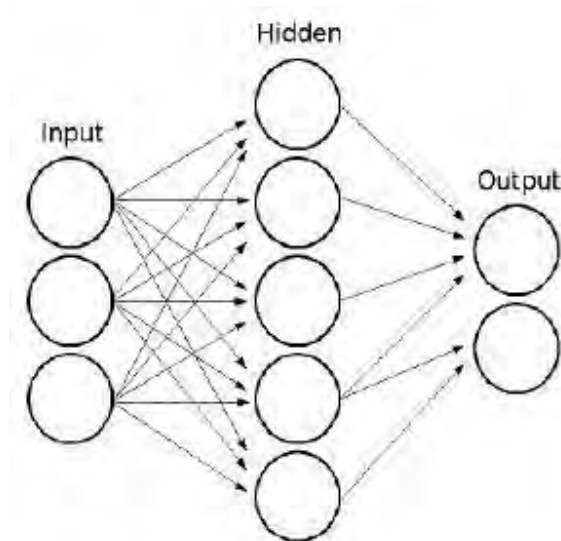


Figura 4. Modelo de MLP

No livro, Hawkins faz uma argumentação convincente e perspicaz, apresentando um modelo da inteligência humana baseado na análise do funcionamento do neocórtex humano. Segundo o autor, esta região do cérebro responsável pela inteligência tem seu funcionamento baseado na noção de autoassociatividade. Ainda segundo Jeff, o funcionamento da inteligência humana ocorre com base na nossa capacidade de predição de memória, onde armazenamos as informações recebidas pelos nossos sentidos durante o decorrer da nossa vida. Com base em estímulos do meio, e feed-backs interiores, podemos acionar trechos de memória no neocórtex já vividos e com isso criar o que seria a inteligência de saber o que fazer ou pensar para cada situação.

Sendo assim, o modelo autoassociativo seria o modelo mais próximo do funcionamento do cérebro humano.

3.1 Rede Neural Autoassociativa

No modelo autoassociativo, deseja-se que a entrada passada à rede seja retornada como saída. Logo, a rede neural possui a mesma quantidade de neurônios na camada de entrada e na camada de saída.

As redes autoassociativas buscam aprender a constituição interna de uma dada classe de padrões com base apenas nos elementos que a compõem. Nos padrões autoassociativos, poucas camadas intermediárias são usadas, filtrando, assim, as informações mais relevantes.

A desvantagem desse modelo é a alta complexidade computacional que ele possui, devido a quantidade de neurônios e conexões. Por outro lado, as redes neurais autoassociativas são capazes de aprender de modo implícito as características internas dos dados de entrada. Ou seja, elas conseguem aprender certas características pertencentes ao padrão apresentado na entrada sem a necessidade de qualquer conhecimento anterior ou instrução específica.

4 Resultados Obtidos

No caso dessa Iniciação Científica, usando as características extraídas das 60 texturas obtidas previamente, as quais foram divididas cada uma em 16 imagens (figura 5), cada imagem formada por 8 características, resultando em um banco de dados com 960 imagens, foi treinada a Figura 4. Modelo de MLP MLP autoassociativa. Para cada imagem passada, a rede neural foi treinada com a mesma, e todas as outras imagens restantes foram passadas uma por uma como entrada, e obtendo-se a saída de cada uma, foi calculada a distância *city-block* (diferença entre a entrada dada e a saída obtida).

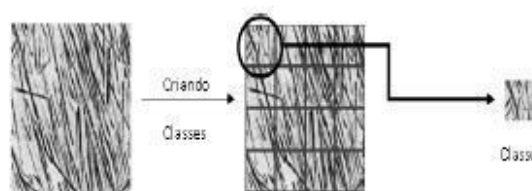


Fig. 5. Imagem ilustrativa de como as classes foram obtidas

Logo após, os resultados foram ordenados pelo de menor distância entre entrada e saída e o *recall*, número de imagens corretas retornadas dividido pelo número total de imagens corretas, de cada imagem foi calculado e dividido por 960 com o propósito de encontrar a taxa média de *recall* entre todas as imagens. Com a taxa média de *recall* foi analisado o quanto a MLP autoassociativa conseguiu distinguir as texturas.

Os treinos foram feitos passando-se as características de três formas: todas as 8 de uma vez, de 7 em 7 e de 1 em 1. Os valores do *recall* foram armazenados a cada 4 imagens testadas. Os resultados obtidos mais relevantes, utilizando um fator de aprendizado de 0.2, podem ser vistos nas Tabelas 1, 2 e 3.

Como se pôde observar, quando se testou a rede neural introduzindo como entrada todas as características de uma vez, o melhor resultado ocorreu com um *recall* médio de 18,04%. Notase também que os melhores resultados foram

obtidos à medida que se aumentou a quantidade de camadas ocultas. Os resultados notados na Tabela 2 demonstram que ao passar apenas uma característica de cada vez, a rede neural autoassociativa apresentou um melhor desempenho em comparação com o teste que recebeu todas as 8 características, consequência que será analisada em estudos futuros. Não se observa diferenças significantes entre a os valores da Tabela 1 e a Tabela 3, mas, ao passar todas as 8 características como entrada, ainda obteve-se resultados superiores.

Tabela 1

Características	Camadas Ocultas	Neurônios na Camada Oculta	Número de Iterações	Recall (Após 104 imagens testadas)
8	1	5	1000	17,54 %
8	1	2	1000	17,62%
8	1	3	1000	17,88%
8	1	10	1000	17,83%
8	2	5	1000	17,79%
8	2	2	1000	18,04%
8	2	3	1000	17,70%
8	3	5	1000	17,84%
8	3	2	1000	17,98%
8	3	3	1000	17,95%

Tabela 2

Características	Camadas Ocultas	Neurônios na Camada Oculta	Número de Iterações	Recall (Após 104 imagens testadas)
8	1	5	1000	17,54 %
8	1	2	1000	17,62%
8	1	3	1000	17,88%
8	1	10	1000	17,83%
8	2	5	1000	17,79%
8	2	2	1000	18,04%
8	2	3	1000	17,70%
8	3	5	1000	17,84%
8	3	2	1000	17,98%
8	3	3	1000	17,95%

Tabela 3

Características	Camadas Ocultas	Neurônios na Camada Oculta	Número de Iterações	Recall (Após 104 imagens testadas)
2,3,4,5,6,7,8	1	5	1000	17,84%
1,3,4,5,6,7,8	1	5	1000	17,85%
1,2,4,5,6,7,8	1	5	1000	17,65%
1,2,3,5,6,7,8	1	5	1000	17,82%
1,2,3,4,6,7,8	1	5	1000	17,65%
1,2,3,4,5,7,8	1	5	1000	17,76%
1,2,3,4,5,6,8	1	5	1000	17,73%
1,2,3,4,5,6,7	1	5	1000	17,90%

5 Conclusão

Com os dados e as análises feitas neste trabalho, compreende-se que a MLP autoassociativa não rendeu resultados com um nível bom o suficiente para ser implementado em UAVs quando treinadas para reconhecer texturas. Como trabalhos futuros, serão realizados estudos mais aprofundados sobre técnicas para escolha dos padrões utilizados no treinamento das redes neurais, como taxa de aprendizado, quantidade de camadas ocultas, pesos, entre outros, a fim de obter um melhor resultado. A forma sugerida para melhorar a busca pela configuração ótima da rede é através do algoritmo genético[15] ou, até mesmo, o uso do PSO (Particle Swarm Optimization)[16].

Referências

- [1] A. Ollero e L. Merino, "Control and perception techniques for aerial robotics," *Annu. Revs. Contr.*, vol. 28, no. 2, pp. 167-178, 2004.
- [2] O. Amidi, T. Kanade, e K. Fujita, "A visual odometer for autonomous helicopter flight," *Robot. Autom. Syst.*, vol. 28, no. 2, pp. 185-193, 1999.
- [3] S. Saripalli, J.F. Montgomery, e G.S. Sukhatme, "Visually guided landing of an unmanned aerial vehicle," *IEEE Trans. Robot. Automat.*, vol. 19, no. 3, pp. 371-380, 2003.
- [4] L. Merino, J. Wilklund, F. Caballero, A. Moe, J. Dios, P-E Forssén, K. Nordberg, e A. Ollero, "Vision-Based Multi-UAV Position Estimation," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, pp. 53-62, 2006.
- [5] R. C. Gonzalez e R. E. Woods, "Processamento de Imagens Digitais," 3.Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- [6] R. O. Duda e P. E. Hart, "Pattern Classification and Scene Analysis," New York: Wiley, 1973.
- [7] <http://www.inf.ufsc.br/~visao/2001/saulo/>. Último acesso em 14 de setembro de 2011.
- [8] Pedrini, H. e Schwartz, W. R. (2008) "Análise de Imagens Digitais – Princípios, Algoritmos e Aplicações".
- [9] Haralick, R. e Shapiro, L. G. (1993) "Computer and Robot Vision", Vol. 2, Addison- Wesley, Reading, MA, Estados Unidos.
- [10] Abbadeni, N. (2011) "Computational Perceptual Features for Texture Representation and Retrieval", In: *IEEE Transactions on Image Processing*.
- [11] Afshang, M., Helfroush, M.S. e Zahernia, A., (2009) "Gabor Filter Parameters Optimization for Texture Classification Based on Genetic Algorithm" *IEEE, In: Machine Vision, 2009. ICMV*.
- [12] Aigrain, P., Zhang, H., e Petkovic, D. (1996) "Content-based representation and retrieval of visual media: A review of the state-of-the-art" *Multimed. Tools Appl.* 3, 3, 179– 202.
- [13] Baraldi, A. e F. Parmiggiani, 1995. "An investigation of the textural characteristics

associated with grey level co-occurrence matrix statistical parameters”, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. 33, 2, pp. 293-304.

- [14] Zhang, J., e Ye, L. (2009) "Ranking Method for Optimizing Precision/Recall of Content-Based Image Retrieval" In: Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing, 2009. UICATC '09. Symposium and Workshops on. pp. 356 – 361
- [15] http://pt.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_gen%C3%A9tico . Último acesso em 14 de setembro de 2011.
- [16] http://en.wikipedia.org/wiki/Particle_swarm_optimization . Último acesso em 14 de setembro de 2012.

Construção de Quadrotores para Testes Com Enxames de Robôs

Oliveira, S. C.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
scampello@ecomp.poli.br

Oliveira, R. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
rmo@ecomp.poli.br

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento da estrutura necessária para a construção de quadrotores totalmente autônomos. Esses quadrotores serão utilizados para o estudo e desenvolvimento de aplicações com enxames de robôs.

Abstract

This paper shows the development of the necessary infrastructure for building quadrotores totally autonomous. These quadrotores will be used for the study and development of applications with swarms of robots.

1 Introdução

Um ramo da Inteligência computacional é o estudo de algoritmos bioinspirados. Tais algoritmos fazem uso de inteligência contida em enxames, onde cada ente do enxame realiza uma tarefa simples, porém o conjunto age como um sistema inteligente completo, podendo assim resolver problemas de maximização de objetivos.

Os enxames de robôs podem ser aplicações práticas dessas técnicas onde cada robô faria o papel de um ente do enxame. O baixo processamento de cada partícula propicia a economia de energia necessária para que a alimentação do robô possa ser feita com baterias. Tais enxames de robôs podem realizar tarefas complexas como patrulhamento de fronteiras de grandes dimensões, busca por objetos em ambientes de risco entre outras.

O objetivo principal deste projeto é desenvolver quadrotores para o estudo e desenvolvimento de aplicações com enxames de robôs. Para a construção desses quadricópteros é necessário a elaboração da estrutura física e interfaces elétricas do mesmo. Como por exemplo, as placas de circuito impresso de interface com os quatro motores necessários para a elevação do quadrotor e a placa central de controle.

Dentre as aplicações para esse projeto podemos citar o monitoramento de fronteiras visando a vigilância contra atividades ilegais e também aplicações em engenharia elétrica, como o monitoramento de linhas de alta tensão por veículos não tripulados.

2 Dispositivos e Suas Características

Alguns dispositivos são necessários para fornecer informações sobre a posição, orientação, aceleração, velocidade e inclinação de modo que estas informações possam ser utilizadas para o controle de voo e também para definir as ações a serem realizadas pelo quadrotor. Também é necessário algumas informações sobre o ambiente para que o quadrotor possa ser capaz de evitar obstáculos. Esses dispositivos são:

- Uma IMU (unidade de medida inercial);
- Um altímetro;
- Um GPS;
- Dez sensores ultrassônicos;
- Dois microcontroladores;

- Uma ou mais baterias LiPo;
- Quatro ESCs (controlador eletrônico de velocidade);
- Quatro motores DC;
- Quatro hélices, e;
- Um módulo de comunicação.

A IMU consiste em três dispositivos: um magnetômetro, um acelerômetro e um giroscópio que são capazes de fornecer orientação magnética, de aceleração e Informações sobre a inclinação respectivamente.

O altímetro é usado para fornecer a altitude atual do quadrotor. Porém os altímetros em geral possuem pouca precisão. Para fins de aterrissagem será utilizado um sensor de ultrassom, por conta de sua maior precisão.

O GPS é utilizado para fornecer a localização geográfica para aplicações externas. A combinação das informações obtidas através dele com as informações obtidas a partir do acelerômetro e do magnetômetro proporciona um melhor esquema de precisão na localização.

Os sensores ultrassônicos são usados para detectar obstáculos e foram organizados da seguinte forma: um conjunto de oito sensores para as laterais do quadrotor, detectando assim a distância de possíveis obstáculos laterais, e mais dois sensores: um para a parte superior do quadrotor, para evitar colisões e outro para a parte inferior, tanto para evitar colisões quanto para auxiliar nos procedimentos de decolagem e aterrissagem.

A entrada de dados dos sensores ultrassônicos e a gestão do nível de bateria são importantes, mas essas tarefas não são essenciais para manter o quadrotor voando. Estas tarefas podem exigir muito tempo de processamento, de modo que um único microcontrolador pode não ser capaz de processar. Isso causaria uma diminuição do desempenho de controle e estabilidade. Então, dois microcontroladores são utilizados para processar dados de todos os sensores e atuam sobre os sinais de saída para controlar os motores do quadrotor.

Um microcontrolador (MCU1) será responsável pelo controle de voo e o outro (MCU2) será responsável pela localização do enxame e comportamento do quadrotor, como pode ser observado na Figura 1.

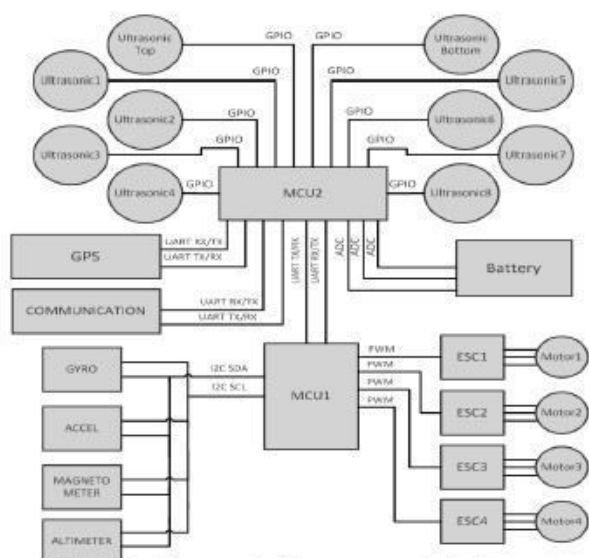


Figura 1. Diagrama de blocos que mostra todos os dispositivos e os sinais de interligação entre eles.

Serão utilizados quatro motores de corrente contínua. Esses motores não possuem os mecanismos necessários para rodar por si só, de maneira que para fazer o movimento de rotação se faz necessário utilizar um dispositivo para controlar e energizar cada fase para gerar a rotação correta [7].

Uma bateria LiPo será utilizada como fonte de energia. Trabalhos relacionados indicam este tipo de bateria como o melhor para este uso [6] [8] [9]. A LiPo é uma bateria recarregável que tem como características: alta capacidade de armazenamento de carga, vários ciclos de carga-des-carga, entre outras [10].

Também serão utilizadas quatro hélices, uma para cada um dos motores e um dispositivo de comunicação de longo alcance para pode fornecer comunicação entre os quadrotores, e entre os quadrotores e a base. Um dispositivo de comunicação de longo alcance é necessário para aplicações ao ar livre, porque a comunicação se mantém ativa, mesmo quando a distância entre os quadrotores ou à base é grande.

3 Estrutura Física

A estrutura física do quadrotor foi elaborada levando em consideração a maneira mais eficaz de acoplar os diversos dispositivos necessários para a construção do mesmo.

Como pode ser observado na Figura 2, a parte superior da mesma (teto do quadrotor) é onde ficarão acoplados os

sonares, devido ao ângulo de cobertura do mesmo, evitando assim a detecção da própria hélice do quadrotor.

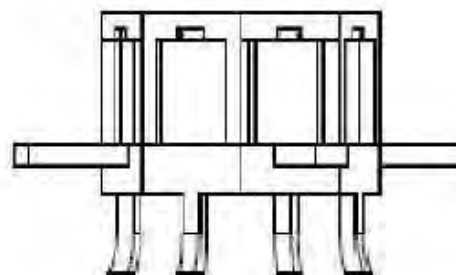


Figura 2. Vista frontal do esboço do quadrotor.

Na Figura 3 pode-se observar as extremidades das hastes onde serão fixados os motores.

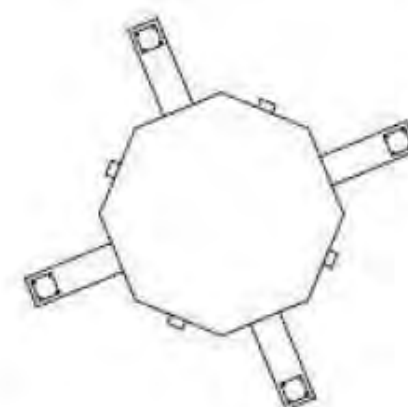


Figura 3. Vista superior do esboço do quadrotor.

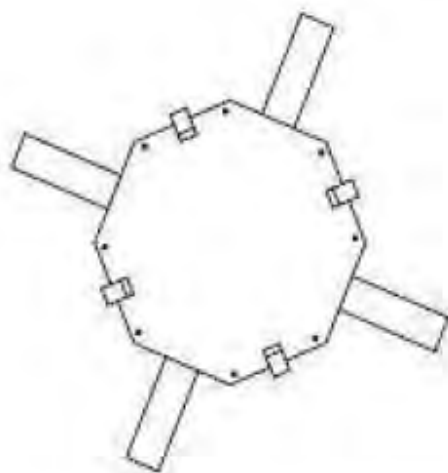


Figura 4. Vista inferior do esboço do quadrotor.



Figura 5. Vista diagonal do esboço do quadrotor.

Na Figura 5 é onde pode ser melhor observada a parte interna do quadrotor, onde vai ser fixada a placa com os demais dispositivos.

4 Conclusão

O projeto como um todo abrange tanto o desenvolvimento da estrutura física quanto dos algoritmos para simulação das aplicações citadas na introdução. Até o momento já foram definidos os componentes a serem utilizados e a estrutura física a ser construída. Os mesmos serão adquiridos para

viabilizar a etapa de montagem do quadricóptero e posteriormente os testes necessários.

Referências

- [1] The Open Source Quadcopter, Disponível em <<http://aeroquad.com/>> Último acesso: 16/02/2012.
- [2] ArduCopter, Disponível em <<http://code.google.com/p/arducopter/wiki/ArduCopter>> Último acesso: 16/02/2012.
- [3] David Alain, Análise de requisitos de hardware em projeto de UAV quadrotor, 2011.
- [4] Multipilot 8 (v1.0), Disponível em <<http://www.virtualrobotix.com/page/multipilot-8-v10>> Último acesso: 10/02/2012.
- [5] Multipilot 32, Disponível em <http://www.virtualrobotix.com/page/multipilot32-1> Último acesso: 10/02/2012.
- [6] Alexandre Secchin de Melo. Implementação de um quadrotor como plataforma de desenvolvimento para algoritmos de controle. Master's thesis, Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.
- [7] Riccardo Poli. Analysis of the publications on the applications of particle swarm optimization. Journal of Artificial Evolution and Applications, page 10, 2008.
- [8] Samir Bouabdallah. Design and control of quadrotors with application to autonomous flying. PhD thesis, 2007.
- [9] E. Cetinsoy, S. Dikyar, C. Hancer, K.T. Oner, E. Sirimoglu, M. Unel, and M.F. Aksit. Design and construction of a novel quad tilt-wing UAV. Mechatronics, May 2012.
- [10] Andrew Gibbs. Lithium Polymer Batteries. Guibss Guides, 2009.

SISTEMA DE MEDICAO DE ENERGIA E MONITORIA DA QUALIDADE DA REDE ELÉTRICA

Santos, H. L. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
hlms@ecom.poli.br

Oliveira, J. P. G.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
jpgo@ecom.poli.br

Resumo

Este artigo apresenta o modo de construção para um protótipo para análise da qualidade da rede elétrica através da monitoração de alguns parâmetros. O sistema foi proposto para funcionar em uma arquitetura reconfigurável, um FPGA, utilizando o software Quartus II e a ferramenta SOPC Builder para a sua concepção. A placa Altera DE2 foi o hardware de desenvolvimento escolhido para fins de implementação do projeto. Esse trabalho resultou de um código VHDL para implementação de um sistema de monitoramento de qualidade de energia elétrica.

Abstract

This paper introduces how to build a prototype for analysis of the quality of the power grid by monitoring some parameters. The system has been proposed to function in a reconfigurable architecture, an FPGA using the Quartus II software and SOPC Builder tool to their design. The DE2 board Alters the hardware development was chosen for implementation of the project. This work resulted in a VHDL code for implementing a monitoring system for power quality.

1 Introdução

A qualidade da energia elétrica fornecida é fundamental para todos os envolvidos numa rede, tanto as empresas de distribuição quanto os consumidores. Portanto são de interesse de usuários e distribuidores uma maneira de monitorar e verificar a qualidade da energia elétrica. Problemas relacionados ao fornecimento de energia podem gerar grandes prejuízos, principalmente aos que dependem da eletricidade para realizar suas atividades econômicas. Então um sistema que analise ajudando numa possível detecção de problemas pode ser uma solução importante na qualidade de energia elétrica.

“A utilização de monitorizadores de qualidade de energia é a melhor forma de detectar e diagnosticar problemas nos sistemas elétricos de potência. Estes equipamentos permitem, basicamente, medir e registrar ao longo do tempo valores de tensões, correntes e potências em vários canais.” [1].

A monitoração da qualidade da energia através dos medidores inteligentes nas chamadas “smart grids” (redes inteligentes) pode trazer alguns benefícios como identificação de furtos de energia, localização de consumos exagerado, provocando uma economia de energia.

Por meio da medição de tensão, corrente, potência e distorção harmônica são possíveis analisar alguns fenômenos como interrupções, variações de tensão de curta e longa duração, oscilações na tensão e transitórios. A partir desses dados extraímos informações para definir a qualidade do fornecimento de energia e ainda encontrar e corrigir problemas na rede elétrica.

Os produtos existentes para monitoramento da qualidade de energia elétrica são caros. Por isso desenvolver uma solução barata e eficaz é importante.

O sistema de qualidade de energia vai calcular as grandezas e registra-las para que o usuário verifique através de uma interface de fácil utilização os parâmetros e as inferências do sistema sobre a qualidade da rede.

2 Estrutura do sistema

O primeiro ponto do projeto para a construção do sistema foi a definição da estrutura do nó necessário para implementar os cálculos dos parâmetros de qualidade e fazer a comunicação com um computador. Depois de verificadas as condições oferecidas pela rede elétrica local, começou a definição sobre a estrutura do sistema. O diagrama foi então elaborado de acordo com as condições locais. Onde foi decidido colocar um transformador reduzindo a tensão para entrada num conversor A/D.

Diante de outra dificuldade, em que a tensão aparece de modo alternado, e apresentando valores negativos, não podendo ser desse modo entrada de um conversor A/D foi introduzido um retificador de onda. Definidos esses componentes é possível colocar esse sinal como entrada de um FPGA, dispositivo escolhido para a análise do sinal, pois possui uma boa flexibilidade. Após os cálculos das grandezas, foi escolhido o protocolo ethernet como modo de comunicação. O protocolo ethernet foi escolhido devido à facilidade de encontrar nos computadores e também uma possível integração futura com a internet.

A figura 1 mostra o esquema definido para o sistema de medição e monitoramento de energia.

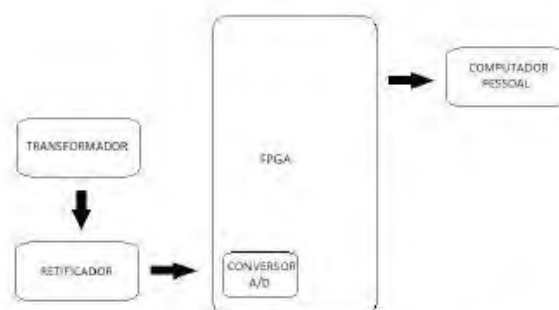


Fig 1. Esquema do sistema de medição.

3 Definição de cálculos dos parâmetros

Por ser um projeto de medição de qualidade, precisamos de uma forma de medição que não tenha limitações. O cálculo da tensão e corrente eficazes, feito, por exemplo, $V_{rms} = V_{pico}/\sqrt{2}$ só fornece valores corretos para formas de ondas senoidais sem distorção. Com apoio do documento “RMS Calculation for Energy Meter Applications” [2] e no artigo de “Kazuo Nakashima” [3] foi definido a medição da tensão eficaz através do TRUE RMS apresenta os valores corretos para qualquer forma de onda.

Foram definidos os cálculos das métricas para o algoritmo:

Tensão Eficaz:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N V^2(i)} \quad (1)$$

O controlador de memória SDRAM também é necessário ao projeto. Na memória serão guardados os valores da tensão e corrente para calcular potência, tensões e correntes eficazes. A memória SDRAM tem 8 MBytes com largura de dados de 16 bits.

Incluído um controlador do LCD utilizado para mostrar as variáveis calculadas e um controlador ethernet utilizado para realizar a comunicação dos dados obtidos.

Depois de adicionados os componentes e ajustados os endereços base dos componentes o sistema se apresenta no modo da figura 4.

Use	Comp.	Module Name	Description	Clock	Base	End	T
		instruction_memory	Instruction Memory Mapped Slave	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		data_memory	Data Memory Mapped Slave	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		on_chip_memory_0	On-Chip Memory (RAM or ROM)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_0	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_1	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_2	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_3	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_4	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_5	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_6	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_7	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_8	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_9	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_10	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_11	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_12	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_13	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_14	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_15	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_16	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_17	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_18	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_19	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_20	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_21	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_22	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_23	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_24	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_25	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_26	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_27	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_28	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_29	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_30	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_31	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_32	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_33	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_34	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_35	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_36	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_37	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_38	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_39	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_40	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_41	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_42	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_43	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_44	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_45	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_46	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_47	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_48	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_49	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_50	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_51	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_52	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_53	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_54	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_55	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_56	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_57	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_58	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_59	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_60	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_61	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_62	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_63	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_64	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_65	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_66	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_67	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_68	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_69	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_70	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_71	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_72	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_73	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_74	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_75	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_76	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_77	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_78	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_79	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_80	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_81	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_82	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_83	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_84	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_85	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_86	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_87	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_88	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_89	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_90	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_91	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_92	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_93	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_94	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_95	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_96	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_97	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_98	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_99	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	
		ram_100	RAM (Parallel)	clk_0	0x00000000	0x00000000	

Fig 4. Sistema no SOPC

Definido o sistema, o próximo passo foi definir a entidade completa do sistema, integrando em VHDL (Figura 5) e atribuindo-os aos pinos da placa Altera DE2 (Figura 6).

```

17  DRAM_CLK, DRAM_CHE : OUT STD_LOGIC;
18  DRAM_ADDR : OUT STD_LOGIC_VECTOR(31 DOWNTO 0);
19  DRAM_BA_1, DRAM_BA_2 : BUFFER STD_LOGIC;
20  DRAM_CS_0, DRAM_CS_1, DRAM_CS_2, DRAM_CS_3 : OUT STD_LOGIC;
21  DRAM_DQ : INOUT STD_LOGIC_VECTOR(15 DOWNTO 0);
22  DRAM_UDQM, DRAM_LDQM : BUFFER STD_LOGIC;
23
24  -- LCD
25  LCD_DATA : INOUT STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0);
26  LCD_CN : OUT STD_LOGIC;
27  LCD_SLOW : OUT STD_LOGIC;
28  LCD_EN : OUT STD_LOGIC;
29  LCD_RS : OUT STD_LOGIC;
30  LCD_RW : OUT STD_LOGIC;
31
32  -- Ethernet
33
34  ENET_CLK : OUT STD_LOGIC;
35  ENET_CMD : OUT STD_LOGIC;
36  ENET_CS_0 : OUT STD_LOGIC;
37  ENET_DATA : INOUT STD_LOGIC_VECTOR(15 DOWNTO 0);
38  ENET_INT : IN STD_LOGIC;
39  ENET_RD_0 : OUT STD_LOGIC;
40  ENET_RST_0 : OUT STD_LOGIC;

```

Fig 5. Parte do código em VHDL da entidade do projeto.

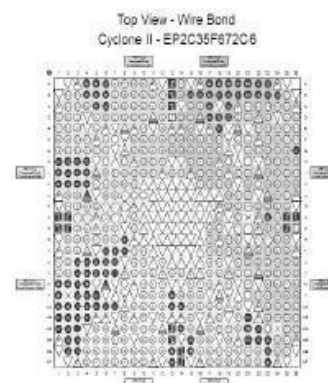


Fig 6. Pinagem do FPGA

5 Camada de software

A próxima etapa foi desenvolvimento da camada de software que irá funcionar sobre o processador nios II na linguagem C.

O software construído foi simples somente com intuito de calcular tensão eficaz, testando o funcionamento básico sistema em escrito VHDL.

A Nios II 9.1 IDE foi usada para a construção do software responsável pela análise dos sinais.

6 Resultados

Os resultados desse projeto foram a definição de métodos de cálculo das grandezas necessária para a medição de qualidade de energia, a definição da estrutura necessária de um sistema de medição, e implementação do processador no dispositivo VHDL da placa Altera DE-2. Os códigos gerados em VHDL e em C para o processador também são os produtos finais do projeto.

7 Conclusões

O projeto descreveu um novo modo de sistema de monitoração de parâmetros utilizados para inferir a qualidade da energia elétrica. Uma solução barata e inovadora, que viabiliza a transmissão dos parâmetros para o monitoramento remoto.

Referências

- [1] J. S. Martins, C. Couto, J. L. Afonso, “Qualidade de energia eléctrica, 3º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia – CLME’2003, Maputo, Moçambique, 19-21 Agosto 2003, pp. 219-231.
- [2] E. Mouli, “RMS Calculation for Energy Meter Applications Using the ADE7756”, Analog Devices, 2003.
- [3] K. Nakashima, “Valor Médio e Eficaz”, 2007.
- [4] C. Costa, Projetos de Circuitos Digitais com FPGA, 2009.

Sensor Óptico de Corrosão para Poços de Petróleo

Andrade, R. A. L. de

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
renato0807@gmail.com

Nascimento, J. F.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
jehan@poli.br

Resumo

Neste trabalho é apresentado um sistema para determinação da taxa de corrosão de metais à base de fibra óptica monomodo utilizando a técnica de reflectometria óptica no domínio do tempo. Os experimentos em laboratório simula-se a corrosão através da imersão de uma fina camada de alumínio depositada numa fibra em uma solução ácida conhecida e medindo no OTDR a variação do nível de luz refletida ao longo do tempo. Trata-se de um sistema auto-referenciado, multiponto, que não possui partes móveis e que é capaz de determinar a taxa de um ponto a quilômetros de distância do centro de monitoramento e que, por esses motivos, se mostra ideal para aplicação em poços de petróleo de grande profundidade.

Abstract

In this work is presented an optical fiber system for determination of corrosion rate of metal using optical time domain reflectometry technique. Laboratory experiments simulate corrosion through immersion of a thin aluminum layer deposited on fiber facet into a known acid solution and measuring on the OTDR the reflected light level variation through the time. It is an auto-referenced, multi-point system, that does not have mobile parts and it is capable of determining corrosion rate kilometers away from monitoring centre. For these reasons, it appears to be ideal for application at great depth oil wells.

1 Introdução

A atividade de extração de petróleo é uma atividade da qual se extraem lucros milionários. Porém, o risco de um vazamento representa um motivo de grande preocupação, considerando suas consequências, que são claramente observadas tanto na esfera econômica quanto na ambiental, com prejuízos financeiros e ao meio ecossistema local, respectivamente, sendo ambos de grandes proporções. A manutenção também requer milhões de dólares para ser executada [1]. Por esse motivo, e pelo fato de as condições de temperatura e pressão serem muito grandes e as distâncias envolvidas serem quilométricas, trata-se de um desafio da atualidade desenvolver um sistema de controle de corrosão eficiente, que verifique quando e onde há a necessidade de realizar manutenção.

As fibras ópticas apresentam características que as tornam ideais para serem empregadas no ambiente hostil dos dutos de petróleo [2]. Elas são simples, versáteis, seguras, confiáveis e de pequenas dimensões. Além disso, não estão sujeitas a ruídos eletromagnéticos externos, por serem materiais isolantes, não apresentam perdas significativas de sinal quando os transportam por longas distâncias e podem ser utilizadas para fabricar redes de sensores. As vantagens são muitas, porém, hoje ainda há limitações como o desenvolvimento de sistemas que se utilizam apenas de fibras de multimodo especial, que se valem de partes móveis, comprometendo parte da robustez do sistema, ou sistemas monoponto [3].

Este trabalho se propõe a apresentar a concepção e demonstração experimental de um sistema sensor de corrosão a base de fibra óptica que utiliza a técnica de reflectometria óptica no domínio do tempo (OTDR). Este sistema é multiponto, auto-referenciado, não possui partes móveis, e pode determinar a corrosão a quilômetros de distância do equipamento OTDR. Apresentam-se aqui os resultados obtidos em condições controladas de laboratório para a determinação da taxa de corrosão do metal.

2 Materiais e Descrição do Sistema Sensor

O sistema utilizado, representado na Figura 1, consiste em 11 cabeças sensoras, sobre as quais foi depositada uma fina camada de alumínio através do processo de evaporação térmica, acopladas a uma única fibra monomodo de 2 km que recebe um sinal do aparelho OTDR. Este envia o sinal, que percorre toda a fibra, e depois mensura o sinal refletido ao longo de todos os pontos para o qual. Foi ajustado para medir. Escolhendo dois pontos, pode-se, além de observar, quantificar, em decibéis, a diferença do sinal refletido entre eles.

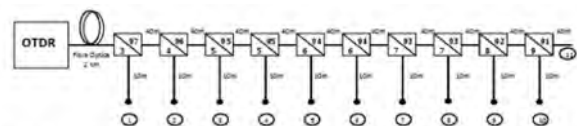


Figura 1. Diagrama esquemático representando o sistema sensor utilizado. São mostradas as 11 cabeças sensoras numeradas, o comprimento das porções de fibra óptica monomodo e as porcentagens de derivação dos acopladores ópticos.

O aparelho é um Anritsu 9076B, o comprimento de onda em que ele opera é $1,55 \mu\text{m}$ e tem uma largura de pulso de 10 ns, o que corresponde a uma resolução espacial de 2 m. O OTDR foi ajustado para medir 5000 pontos numa distância de 5 km, logo, um ponto a cada 10 cm. O sinal gerado pelo OTDR é direcionado para cada cabeça sensora através de acopladores posicionados ao longo da fibra, que desviam uma porcentagem de 3 a 9 % do sinal que percorre a fibra no ponto em que está instalado.

3 Resultados e Discussão

A cabeça de número 6 foi utilizada para os experimentos de simulação de corrosão controlada em laboratório – cada pico no traço do OTDR corresponde a uma cabeça sensora; logo o sexto pico corresponde à sexta cabeça sensora (Figura 2). O alumínio depositado na ponta da fibra foi imerso na solução ácida $25 \text{ H}_3\text{PO}_4 : 1 \text{ HNO}_3 : 5 \text{ CH}_3\text{COOH}$, que é bem conhecida. Sabe-se que a taxa de corrosão desse ácido para o alumínio é de 50 nm/min. Como a reflectância da luz sobre o metal depende da espessura deste, de modo que, à medida que a espessura diminui, mais luz consegue atravessá-lo, é possível visualizar, através dos dados obtidos pelo OTDR e após certo tempo de corrosão, a diminuição da espessura do alumínio quando ele é imerso na solução ácida (Figura 3).

A intensidade é medida quando, após ser retirada do ácido, a ponta da fibra é imersa na água. Analisando o gráfico obtido com o experimento (Figura 4), pode-se resumir em quatro etapas: um primeiro patamar, onde ocorre corrosão mas esta não provoca redução na reflectância; uma queda de inclinação aproximadamente constante após os primeiros 60 segundos de corrosão; depois o alcance de um valor mínimo, um pequeno aumento nos valores medidos; e o estabelecimento de um novo patamar, aproximadamente após 120 s de experimento, que corresponde à corrosão completa do alumínio. O primeiro patamar ocorre porque a espessura ainda é suficientemente grande para que todo o sinal seja refletido. Após 60 s de corrosão, a espessura já não é tão grande, provocando redução da reflectância com a diminuição da espessura. O último patamar acontece porque, após a corrosão total do alumínio, o nível de reflexão da luz medido é o da interface fibra-líquido, o qual é constante em função do tempo. O

vale observado antes do segundo patamar não tem importância na determinação da taxa de corrosão, logo não é objeto de estudo deste trabalho.

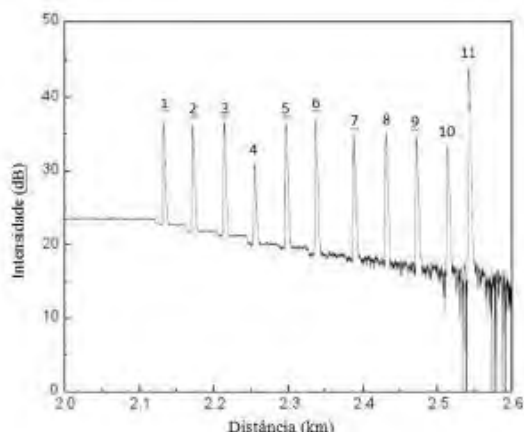


Figura 2. Traço do OTDR correspondendo à intensidade da luz refletida para cada ponto. Cada pico de reflexão corresponde a uma cabeça sensora.

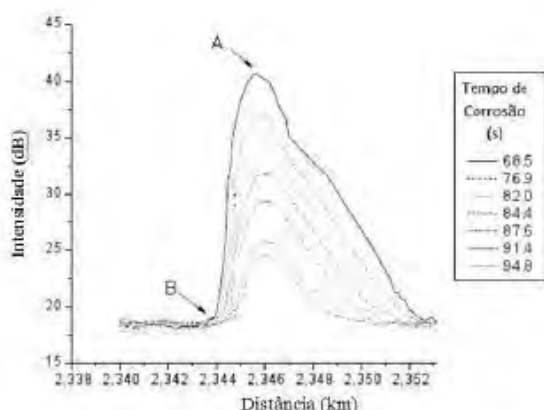


Figura 3. Traço do OTDR para a cabeça sensora número 6, para vários tempos de corrosão.

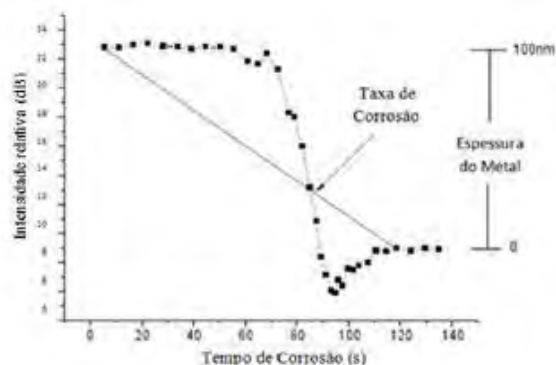


Figura 4. Intensidade relativa medida ao longo do processo de corrosão do alumínio. É indicada a reta utilizada para o cálculo da taxa de corrosão e por meio da qual se identificam os pontos utilizados marcados como início e fim do processo.

Calculamos a taxa de corrosão dividindo a espessura total no início do experimento pelo tempo necessário para atingir o patamar inferior. Esse cálculo nos dá a taxa de 47,5 nm/min, que apresenta um erro de apenas 5 % em relação à taxa esperada de 50 nm/min.

O modo de obtenção da taxa de corrosão, pela razão entre o sinal detectado nos pontos A e B (Figura 2), confere ao sistema a característica de ser auto-referenciado, ou seja, não sofrer influência de eventuais flutuações devido a curvatura das fibras, variações na intensidade do sinal emitido pelo OTDR ou nas características dos acopladores ópticos.

4 Conclusões

Neste trabalho foi proposto um sistema de monitoramento de corrosão metálica à base de fibra óptica e demonstrado experimentalmente o processo de determinação da taxa de corrosão de um metal depositado na face de uma fibra através da técnica de reflectometria óptica no domínio do tempo. Os resultados apresentaram um erro considerado pequeno, de 5 %, em relação à taxa esperada.

O sistema é auto-referenciado, não possui partes móveis, é multiponto e é capaz de determinar a taxa de corrosão a quilômetros de distância, pois foi feito com o propósito de aplicação nas condições físicas hostis dos dutos de petróleo, onde é de fundamental importância evitar acidentes e, ao mesmo tempo, é desaconselhável parar a produção para realizar manutenção apenas por prevenção, considerando os prejuízos financeiros provocados por interrupções na produção e até ambientais, no caso de vazamentos. Vale ressaltar que, apesar de ter sido utilizado alumínio para a simulação de corrosão, outros metais de interesse podem ser utilizados.

5 Agradecimentos

Agradecemos à Escola Politécnica de Pernambuco pelo seu programa de Iniciação Científica, ao Departamento de Eletrônica e Sistemas da UFPE pela concessão de seu espaço e estrutura para realização das pesquisas e a FACEPE pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] CLARK, K., SCHILLING, L., Fiber Optic Sensor Suite for Corrosion and Flow-Assurance Monitoring in Deepwater Flowlines, 2001, em <http://jazz.nist.gov/atpcf/prjbri-efs/prjbri-efs.cfm?ProjectNumber=00-00-4611>
- [2] QIAO, G., ZHOU, Z., OU, J., Thin Fe-C Alloy Solid Film Based Fiber Optic Corrosion Sensor, Proc. Of the 1st IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, 2006, China, pp. 541-544.
- [3] STAVELEY, C., Applications of Optical Fibre Sensors to Structural Health Monitoring, Optimisation and Life-cycle Cost Control for Oil and Gas Infrastructures, Business Briefing: Exploration & Production: The Oil & Gas Review 2004, e http://www.briefings.com/pdf/951/smart_tech.p

Avaliação de parâmetros operacionais em um gaseificador de biomassa de fluxo concorrente (downdraft ventilado)

Loureiro, E. C. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Eduloureiro@uol.com

Garrett, I. A. 2

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
isabellagarrett@hotmail.com

Resumo

O projeto "Avaliações de parâmetros operacionais em um gaseificador de biomassa de fluxo concorrente", que teve início na primeira semana de outubro de 2011, visa avaliar a influência dos diversos tipos de biomassa e dos parâmetros operacionais de um gaseificador do tipo fluxo concorrente (downdraft). Assim como, realizar coletas e análise quantitativa e qualitativa das amostras com a finalidade de promover melhorias na pesquisa e com isso aprimora essa tecnologia. Bem como, estudar a aplicação do gás produzido em motores de combustão interna e a sua utilização no setor elétrico. Essa pesquisa proporciona um maior entendimento sobre a gaseificação de biomassa que não é um processo recente, porém está em contínuo crescimento. Esta tecnologia, cujo produto produz um resíduo energético limpo e flexível no seu uso como também o seu manuseio, é vista como uma das formas de utilização de diferentes tipos de matéria-prima com grande perspectiva para o futuro.

Abstract

The project "Evaluations of operational parameters in a biomass gasifier flow competitor", which began the first week of October 2011, aims to evaluate the influence of different types of biomass and operational parameters of an aerator type flow concurrent (downdraft). Just like, perform sampling and quantitative and qualitative analysis of samples in order to promote improvements in research and thereby enhances this technology. As well as studying the application of the gas produced in internal combustion engines and its use in the electric sector. This research provides a better understanding of the biomass gasification process that is not a recent one, but is continuously growing. This technology, which produces a waste product energy clean and flexible in its use as well as in its management, is seen as one way of using different types of raw material with great prospects for the future

1 Introdução

O projeto sobre a gaseificação visa avaliar a influência de três diferentes tipos de matéria-prima (cavaco de madeira, torta de mamona e casca de arroz) e de parâmetros operacionais do gaseificador para a produção do gás utilizado para geração de eletricidade por meio de combustão interna.

Para tal finalidade, foi necessário um levantamento bibliográfico sobre a gaseificação de biomassa por meio de teses de doutorado, livros e seminários vinculados ao tema para a execução do projeto, cujos nomes dos autores se encontram na página de Referências bibliográficas. Após o período de busca, sucedeu o treinamento para a utilização dos equipamentos do laboratório de combustíveis com o propósito de executar os ensaios necessários à

caracterização da matéria-prima. Além de rodadas de gaseificação para a coleta e análise qualitativa e quantitativa do gás gerado.

Essa pesquisa foi realizada no laboratório de combustíveis e energia - POLICOM-UPE, com ajuda de mestrandos, doutores, docentes e discentes que entendem sobre o assunto vigente. Esse projeto é de grande importância para o conhecimento de engenheiros que visam trabalhar na área de combustíveis, pois essa tecnologia que tende a se tornar uma alternativa para a geração de energia elétrica.

2 Objetivo

Avaliar a influência dos parâmetros dos diferentes tipos de biomassa e de parâmetros operacionais de um gaseificador do tipo fluxo concorrente (downdraft ventilado) na produção de gás com a finalidade de gerar eletricidade por meio de motor de combustão interna.

Assim como, despertar no aluno iniciante o interesse pela pesquisa, apresentando-o ao método científico e fornecendo base e estímulo necessário à formação de um novo pesquisador.

3 Metodologia

3.1 Estilos

1º trimestre: Levantamento bibliográfico sobre o processo de gaseificação de biomassa através de teses, livros e seminários. E execução de revisão bibliográfica completa sobre o assunto.

2º trimestre: Treinamento na utilização dos equipamentos do laboratório de combustíveis (POLICOM-UPE)

para a execução de ensaios necessários à caracterização térmica das biomassas.

3º trimestre: Caracterização das biomassas, cavaco de madeira e pellet da torta de mamona, por meio da análise do teor de umidade, análise calorimétrica e termogravimétrica. Execução de rodadas de gaseificação.

4º trimestre: Execução de rodadas de gaseificação para avaliação da influência dos parâmetros operacionais do gaseificador. Compilação e análise dos resultados obtidos para a publicação de relatórios e artigos.

3.2 Material de estudo

A gaseificação é um processo que transforma combustíveis sólidos ou líquidos (biomassas), podendo ser de origem animal ou vegetal, em combustíveis gasosos (gás de síntese). O gás produzido contém hidrogênio (H₂), monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), dióxido de carbono entre outros hidrocarbonetos. Essa transformação acontece por meio de reações termoquímicas, podendo utilizar como oxidantes o vapor quente, ar ou oxigênio.

3.2.1 Gaseificador

O tipo de gaseificador estudado no projeto de iniciação é o de leito fixo concorrente do tipo “downdraft”, instalado na Escola Politécnica de Pernambuco. Esse tipo de reator é um dos mais difundido. O gaseificador “downdraft” é relativamente fácil de ser projetado e manuseado e é eficiente trabalhando com materiais de elevada densidade e granulometria grosseira. Ele é alimentado pelo topo e o ar é alimentado pela lateral do reator, acima da grelha. Seu tipo de acomodação e funcionamento lhe permite uma produção de gás parcialmente livre de alcatrão (hidrocarbonetos poliaromáticos).

O gaseificador de fluxo concorrente apresenta quatro zonas de reações: secagem, pirólise, oxidação e redução, ver Figura 01. A secagem consiste na zona em que ocorre a evaporação da água contida na biomassa utilizando o calor proveniente das zonas inferiores. A velocidade de reação depende da superfície de contato do material entre outros fatores. Nesta fase a temperatura atinge a faixa de 70-200°C. Na pirólise ocorre a degradação térmica da matéria-prima. Nessa zona as temperaturas estão na faixa de 350-600 °C. Na oxidação, os produtos produzidos na pirólise sofrem oxidação, nessa etapa as reações ocorrem muito rápidas. Essas reações são extremamente exotérmicas, ocasionando o aumento da temperatura que chega a 1100 °C. Na zona de redução, o carvão pirolisado é transformado em gás através de reações com os gases quentes

oriundos da oxidação. Ver Figura 02, que apresenta os principais processos de conversão térmica e os produtos gerados da pirólise, gaseificação e combustão.

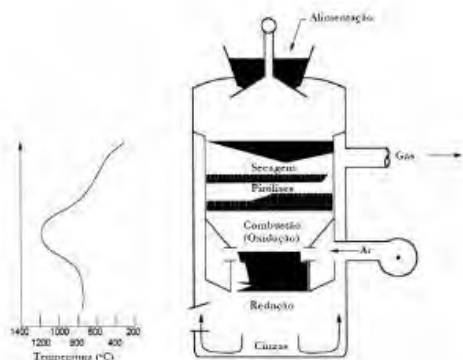


Figura 01: Gaseificador concorrente-downdraft.
Fonte: McKendry(2002).

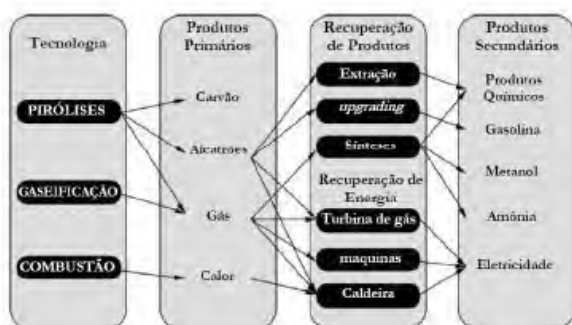


Figura 02: Processos de conversão térmica e os produtos gerados.
Fonte: Desconhecida.

A principal vantagem desse tipo de reator consiste na possibilidade de produzir um gás parcialmente livre de alcatrões, possibilitando ser usado imediatamente em motores. O alcatrão consiste no produto da pirólise. Este produz gases que se dividem em duas categorias: os gases não condensáveis (CO , CO_2 entre outros) e o alcatrão (hidrocarboneto poli-aromático). A quantidade desse elemento depende da temperatura e da pressão que rege o processo de gaseificação. Ele pode reagir formando materiais voláteis, condensar ou produzir carvão.

3.2.2 Biomassa

Uma das biomassas estudadas no projeto de iniciação

consiste nos resíduos de madeira, que pode ser encontrada em grande quantidade, tanto nas indústrias quanto nas florestas (devido a sua exploração ilegal). Essa alta quantidade de desperdícios representa um grave problema para o meio ambiente. Sua utilização na geração de energia representa uma excelente alternativa para a recuperação desses rejeitos sólidos.

Já a mamona devido a sua grande produtividade e variedade, principalmente no Brasil, torna-se uma boa fonte de produção energética tanto na área de gaseificação como também na parte de fabricação de biodiesel. Possuindo assim, um elevado aproveitamento da matéria-prima. Para essa pesquisa, foi requerida apenas a torta de mamona que consiste na semente sem o óleo.

Logo, o estabelecimento dessa nova tecnologia representa uma alternativa para recuperação energética dos rejeitos sólidos. Apesar de que, muitos rejeitos não poderem ser utilizados e outros demandam de certo pré-tratamento, porém, há os que podem ser inteiramente aproveitados e submetidos diretamente ao processo de gaseificação, como: rejeitos da indústria do papel, plástico, madeira e os resíduos da agricultura.

3.2.3 Impactos

A utilização da biomassa como fonte de energia, tem gerado grande interesse em virtude da decadência das reservas de combustíveis fósseis, sendo o Brasil o terceiro maior produtor de bio-eletricidade perdendo apenas para os Estados Unidos e a Alemanha segundo pesquisas realizadas pela DEMIRBAS et. al (2005). O estabelecimento dessa nova tecnologia de conversão de matéria-prima é uma grande oportunidade principalmente na geração de eletricidade para regiões isoladas.

Uma das grandes desvantagens da utilização da biomassa consiste na grande demanda de mão-de-obra intensiva para produzir, colher, transportar, pois a mesma se encontra dispersa nas grandes regiões. Porém, essa grande necessidade de mão-de-obra é uma excelente oportunidade para a geração de empregos nas plantações.

Portanto, além dessa tecnologia ser de grande ajuda na área ambiental e socioeconômica, possui seu lado negativo em virtude do alto teor de cinzas. Porém, seus grandes efeitos minimizam as dificuldades, pois a biomassa é considerada o combustível com grande potencialidade no setor elétrico como alternativa em virtude do declínio dos combustíveis fósseis.

4 Resultados obtidos

As biomassas estudadas são constituídas de umidade, fibras (celulose, hemicelulose e lignina) e cinzas. Por isso, sua caracterização se baseia na análise do teor de umidade, da calorimétrica e da termogravimétrica das biomassas. As caracterizações do cavaco de madeira e do pellet da torta de mamona são descritas a seguir, permitindo uma análise quantitativa e qualitativa da matéria-prima empregada na produção de gás para geração de eletricidade por meio de motor de combustão interna (gerador).

4.1 Umidade

A umidade da matéria-prima é uma das principais características que prejudicam a composição do gás de síntese. Biomassas que possuem um teor de umidade acima de 15% torna o gás produzido pobre no que diz respeito a seu poder calorífico. Logo, a eficiência do gás decresce com o aumento do teor de umidade, pois grandes quantidades de energia são gastas na evaporação da água contida na matéria-prima o que reduz a temperatura do gás, ocasionando a redução da velocidade de reação e a eficiência no processo.

Para obter o teor de umidade, uma pequena quantidade de biomassa é triturada e depositada em cima de uma placa de petri (que foi pesada anteriormente obtendo assim a massa do recipiente (Mrecipiente)). Em seguida, faz-se a medição da massa do recipiente em conjunto com a matéria-prima triturada para encontrar a massa da amostra (Mamostra). Após a pesagem a amostra é colocada na estufa por 2 h, na temperatura de 105 °C. Depois, a mesma é novamente pesada para obter-se a massa final (Mfinal).

Após esses procedimentos, realizam-se os cálculos necessários para encontrar o teor de umidade presente na matéria-prima estudada. Como resultado da análise das duas biomassas observadas obtém-se os resultados a seguir.

Tabela 01. Teor de umidade: Cavaco de madeira (Origem: madeireira)

Amostra	01	02	03
M(recipiente)	31,7999g	31,1383g	29,8507g
M(amostra)	5,0628g	5,0108g	5,0267g
M(final)	36,2483g	35,5452g	34,2613g
Umidade	12,1356%	12,0519%	12,2565%

Tabela 02. Teor de umidade: Pellets da torta de mamona.

Amostra	01	02	03
M(recipiente)	31,7993g	31,1389g	29,8507g
M(amostra)	3,3364g	3,5183g	3,2305g
M(final)	34,8892g	34,4171g	32,8498g
Umidade	7,3882%	6,8224%	7,1629%

4.2 Calorimetria

O ensaio necessário para medir o poder calorífico da biomassa estudada consiste em submeter à amostra peletizada à bomba calorimétrica, que é um equipamento utilizado para a determinação do poder calorífico de combustíveis sólidos e líquidos. Nesse processo, ocorre a combustão da amostra que libera calor devido à reação. Essa energia (calor) é transferida para água, cuja temperatura anterior já era conhecida. Com essa diferença de temperatura que a água foi submetida, o equipamento realiza os devidos cálculos e fornece o PCS (poder calorífico superior). Para obter o PCI (poder calorífico inferior) são realizadas as devidas titulações, cujos resultados são digitados no equipamento que realiza os cálculos necessários e fornece o valor do PCI.

Como resultado da análise calorimétrica das duas biomassas estudadas obtém-se os resultados a seguir:

Tabela 03. Calorimetria: Cavaco de madeira (Origem: madeireira)

Amostra	Massa	PCS(poder calorífico superior)	PCI(poder calorífico inferior)
01	0,3271 g	17458 J/g	17174 J/g
02	0,3523 g	17555 J/g	17293 J/g
03	0,2893 g	17663 J/g	17340 J/g

Tabela 04: Calorimetria: Pellets da torta da mamona.

Amostra	Massa	PCS(poder calorífico superior)	PCI(poder calorífico inferior)
01	0,3930 g	19537 J/g	19340 J/g
02	0,3529 g	19443 J/g	19216 J/g
03	0,3231 g	19335 J/g	19073 J/g

4.3 Termogravimetria

A análise termogravimétrica consiste em determinar a

variação da massa das amostras em relação à temperatura. Para tal finalidade, foi utilizada uma balança termogravimétrica Shimadzu, modelo DTG- 60. A análise consiste em colocar uma pequena quantidade da amostra em um cadinho. Esse cadinho que já possui a amostra é comparado com outro cadinho similar vazio com o propósito de detectar a diferença de massa existente entre os dois devido ao aumento de temperatura. Nesse equipamento, a biomassa é submetida a temperaturas elevadas (acima de 800°C). O resultado obtido é plotado em gráfico TGA e DTA.

Como resultado da análise termogravimétrica das duas biomassas estudadas obtém-se os seguintes dados:

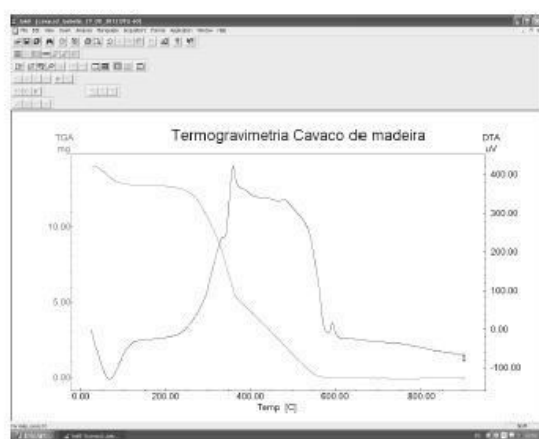


Figura 03: Gráfico 01. Termogravimetria: Cavaco de madeira (Origem: madeireira).
Fonte: Isabella de Andrade Garrett (2012).

Tabela 05. Resultado da análise imediata do cavaco de madeira.

	Composição percentual
Umidade	9,24
Material volátil	90,37
Carbono fixo	-
Cinzas (900°C)	0,62

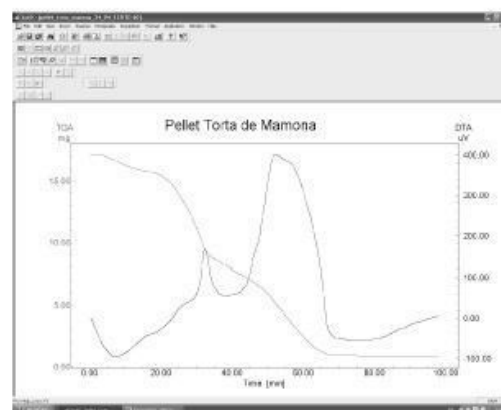


Figura 04: Gráfico 02. Termogravimetria: Pellets da torta da mamona.
Fonte: Isabella de Andrade Garrett (2012).

Tabela6. Resultado da análise imediata do pellet da torta de mamona.

	Composição percentual
Umidade	7,85
Material volátil	86,88
Carbono fixo	0,14
Cinzas (900°C)	4,91

4.4 Cromatografia

Devido às adaptações que o gaseificador anda passando, não foi possível analisar os gases produzidos.

5 Dificuldades encontradas

O projeto de iniciação “Avaliação de parâmetros operacionais em um gaseificador de biomassa de fluxo concorrente (downdraft ventilado)” passou por algumas dificuldades, principalmente em virtude de que o gaseificador está passando por modificações para agregar o gerador, com a finalidade de adaptar o gás produzido em motores de combustão interna. Como também, está ocorrendo adaptações na sua estrutura para otimizar o seu funcionamento. Por isso, sua operação é mais voltada para testar os equipamentos que o compõem, e assim modifica-lo, do que para analisar o gás obtido.

Além disso, a localização do gaseificador também fornece um pouco de restrição quanto ao seu uso contínuo, pois o mesmo se encontra ao lado de uma clínica médica. Logo, quando acontecem as rodadas de gaseificação, a queima da biomassa libera muitos poluentes que são arrastados pelo vento e vão ao encontro da clínica. E isso poderá trazer prejuízos a médio prazo ao ambiente vizinho.

Também se pode considerar uma dificuldade devido ao próprio manuseio da máquina, pois requer um grande trabalho braçal para colocá-lo em funcionamento, tanto no transporte da biomassa até o local onde ocorre a queima como também o procedimento para dar o “start-up” para queimar a matéria-prima.

6 Considerações finais

O projeto de iniciação “Avaliação de parâmetros operacionais em um gaseificador de biomassa de fluxo concorrente (downdraft ventilado)”, visa proporcionar o entendimento de uma tecnologia que tem estado em destaque, pois é vista como uma das formas para a geração de energia elétrica, utilizando diferentes tipos de matéria-prima, com maior perspectiva para o futuro.

Essa pesquisa é de grande importância para o desenvolvimento acadêmico do estudante, pois proporciona um interesse pela pesquisa científica através de levantamento bibliográfico sobre a gaseificação de biomassa por meio de teses de doutorado, livros e seminários vinculados ao tema. Além de colocar em contato com pessoas, que entendem muito sobre o assunto e que possuem capacidade técnicas para treinar o estudante na utilização dos equipamentos do laboratório de combustíveis (POLICOM-UPE) com a finalidade de executar os ensaios necessários para à caracterização da matéria-prima.

Logo, o projeto sobre a gaseificação de biomassa foi realizado com sucesso. O assunto abordado no projeto é de grande valor social, pois a biomassa é considerada o combustível com grande potencialidade para a geração de energia sustentável.

Referências

- [1] Henriques, Rachel Martins. Tese de Doutorado: Potencial para a geração de energia elétrica no Brasil com resíduos de biomassa através da gaseificação. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro; UFRJ, 2009.
- [2] Andrade, Rubenildo Vieira. Tese de Doutorado: *Gaseificação de biomassa: Uma análise teórica e experimental*. Itajubá, MG; UFI, 2007.
- [3] Barreto, Eduardo José Fagundes. *Combustão e gaseificação de biomassa sólida. (soluções energéticas para a Amazonas.)*. 1 ° ed. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2008.
- [4] Peres, Sérgio. ; Silva, Fabio M. V.; Gusmão, Alexandre D. ; Loureiro, Eduardo C. M.; Azevêdo, Bernardo C.; Júnior, Adalberto F. N.; Almeida, Carlos H. T. *Potencial energético da biomassa oriunda de canteiro de obras da construção civil através da gaseificação*. Recife, PE, UPE, 2012

Desenvolvimento de sistema fotobiorreator de microalgas para sequestro de CO₂

Silva, A. N.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
alexandresilva@gmail.com

Pereira, R. S.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Renato-dsp3@gmail.com

Alencar, V. M. R.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
viniciusmralencar@gmail.com

Castrillo, L. S.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
lazaracas-trillo@gmail.com

Travassos A.
Fafire
50060-002-Recife, Brasil

Silva, S. P. R.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
speres@poli.br

Resumo

A poluição ambiental e o efeito estufa causado pelo uso de combustíveis fósseis nas indústrias e automóveis são considerados o maior impacto da industrialização, aproximadamente 85% das emissões de enxofre e 75% das emissões de CO₂ são causados pelo uso de combustíveis fósseis. A rápida degradação ambiental observada nos dias de hoje não é um foco de interesse apenas dos ambientalistas, mas, para a sociedade mundial, a maior vítima das consequências. Demandas crescentes são feitas por instituições e governos para que medidas adequadas e sustentáveis para reduzir as emissões de CO₂ e SO₂ para evitar consequentes desastres naturais, uma possível e econômica solução foi estudada em escala laboratorial com um antigo microorganismo fotossintetizante, a microalga. Esses organismos apresentam uma taxa fotossintética alta e trabalham como pequenas fábricas submersas cujos processos bioquímicos diminuem a emissão de gases do efeito estufa. Esse trabalho apresenta os resultados de estudos no poder de fixação do dióxido de carbono em termos microbiológicos e análises cromatográficas para uma biomassa algal natural de um reservatório eutrófico, localizado na região nordeste do Brasil

Abstract

The Environmental pollution and the greenhouse effect caused by the use of fossil fuels in industries and automobiles are considered the biggest impact caused by industrialization, as approximately 85% of sulfur emissions and 75% of CO₂ emissions are caused by fossil fuels usage. The rapid environmental degradation observed nowadays is not a point of interest only to environmentalists, but, to the world society, the major victim of the consequences. Increasing demands are made by institutions and governments to take suitable and sustainable measures to reduce the CO₂ and SO₂ emissions to avoid consequential natural disasters one possible and very economical solution has been studied in a laboratory scale with an old photosynthetic microorganism, the microalgae. These organisms present a high photosynthetic rate and work as underwater micro factories whose biochemical processes decrease the greenhouse gases emissions. This work presents the results of the studies on the power of carbon dioxide fixation in terms of microbiological and chromatographic analysis for the natural algal biomass of a eutrophic reservoir, located in the northeastern region of Brazil.

1 Introdução

O sequestro biológico de dióxido de carbono tem atraído a atenção como estratégia mitigadora de emissão de gases de efeito estufa porque esse processo leva à produção de biomassa no processo de fixação de CO₂ pela fotossíntese. Microalgas são organismos fotossintéticos microscópicos que podem ser encontrados na água fresca e em ambientes marinhos com um mecanismo fotossintético similar ao das plantas terrestres, porém com uma eficiência de 10 a 15 vezes maior que as plantas terrestres. (Kumar et al., 2010)

Portanto, este projeto visa o desenvolvimento de um sistema integrado de fotobiorreator utilizando microalgas para sequestro de CO₂. Os aspectos motivacionais são diversos incluindo a verificação da capacidade de absorção de CO₂ das microalgas, além da identificação das microalgas que fazem parte do consórcio de microorganismos.

A originalidade do projeto é o desenvolvimento de um sistema de fotobiorreatores fechados com objetivo múltiplo de catalogar e quantificar as microalgas quer seja marinha ou de água doce quanto à capacidade de sequestro de CO₂ utilizando outros gases efluentes poluentes como fontes nutritivas e necessárias ao seu crescimento.

No período em que a biomassa sofre ação da luz incidente, a mesma realiza fotossíntese, processo no qual absorve o CO₂ presente na atmosfera para, junto com outros compostos, converte-lo em energia. Como produto da reação é liberado O₂ para a atmosfera.

2 Material e Métodos

Para realização desta pesquisa foi projetado e construído um fotobiorreator de bancada – Colossus – mostrado na figura 1. O experimento foi realizado em três provetas graduadas de 1 litro, cada uma com um volume fixo de biomassa de microalgas de 700ml a uma temperatura constante de 22,4 °C e um pH igual a 7. Injetou-se na biomassa uma mistura de Ar/CO₂ a 15% e nutrientes (1,99x10⁻⁴ g/ml Nitrogênio e 1,86x10⁻⁴ g/ml de Óxido de Potássio) com a finalidade de emular o ambiente onde estes seres vivem.

Junto a isso, o sistema foi submetido à ação de intensidade luminosa da ordem de 9000 lux medido com um luxímetro Instrutherm LD-209 durante um período total de 5 horas. Após 1 hora foram retiradas amostras líquidas dos três tubos, bem como coletados gases de entrada e saída dos tubos. Estas amostras foram retiradas em intervalos de 2 horas.



Figura 1. Fotobiorreator Colossus

Após a coleta, as amostras líquidas foram utilizadas para a contagem e a caracterização das espécies de algas presentes, e sua variação ao longo do tempo, com o auxílio de um microscópio invertido Opticon enquanto que os gases foram analisados num Cromatógrafo a Gás, modelo SRI 8610, equipado com um detector de condutividade elétrica (TCD). O volume dissolvido de O₂ nas amostras líquidas também foi verificado utilizando o medidor de oxigênio dissolvido DO-5519 da marca Lutron.

3 Resultados e Discussões

Analisando o gráfico da figura 2, observou-se que houve uma diminuição média entre o teor de CO₂ aferido na entrada e o teor de CO₂ na saída, tendo captura média de CO₂ de 29,08% na primeira etapa e 14,49% na segunda, em relação ao que foi injetado nas três tubos observados. Isso representa o teor de gases capturado e utilizado para fotossíntese. Observou-se também nas amostras líquidas uma dissolução média de O₂ de 8,85 mg/L no primeiro momento e 9,23 mg/L no segundo, em cada tubo, evidenciando a existência do processo fotossintético liberando O₂ no meio aquoso.

Os resultados da primeira etapa do experimento estão ilustrados na Figura 2 onde observou-se pelo gráfico que houve uma diminuição média entre o teor de CO₂ aferido na entrada e o teor do mesmo na saída, sendo a captura média do gás de 29,08% apresentando máximo de sequestro de CO₂ de 33,79%.

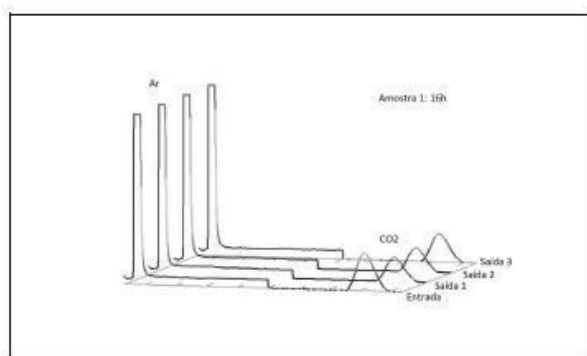


Figura 2. Curvas de absorção de CO₂ na primeira etapa

2 horas após a primeira amostragem foi realizada nova coleta de amostras líquidas dos três tubos e realizada as análises da quantidade de oxigênio dissolvido e cromatografia das amostras gasosas para a determinação do percentual de sequestro de CO₂ nesta segunda etapa.

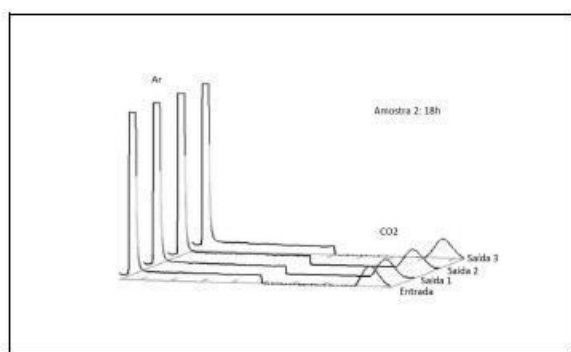


Figura 3. Curvas de absorção de CO₂ na segunda etapa

Na figura 3, viu-se que houve uma redução média das medidas de entrada e saída do CO₂ no sistema, sendo a captura média de 14,19% chegando à máxima de 16,68%

Este comportamento foi similar ao da primeira etapa do experimento, o que demonstra a continuidade da absorção dos gases injetados. A regularidade do experimento pode ser comprovada através dos indicadores já citados, como mostram as tabelas 1 e 2.

Amostra	0	1	2	3
10/11 17h Ar	150,762	153,706	150,854	152,136
CO ₂	27,93	17,741	21,086	18,116
%CO ₂	15,6302465	10,3478043	12,2635803	10,6406973
%SeqCO ₂		33,7962821	21,5394309	31,9223958
Amostra	0	1	2	3
10/11 19h Ar	154,94	157,48	156,286	156,754
CO ₂	17,486	14,515	15,422	14,738
%CO ₂	10,141162	8,43919881	8,98152678	8,59398689
%SeqCO ₂		16,7827236	11,4349344	15,2563889

Tabela 1. Resultados percentuais do experimento

Na tabela 1 tem-se inseridos os valores das áreas cromatográficas da injeção de Ar e CO₂ no sistema, bem como os valores de saída de cada um dos tubos e, em seguida, os seus valores percentuais de absorção, calculados em relação aos dados de entrada. Os percentuais encontrados significam uma mistura final mais pobre em CO₂ do que a inicial, o que significa a captura deste gás por parte da biomassa de microalgas.

Na mesma tabela, encontram-se descritos os valores obtidos no experimento em seus dois momentos de execução, o que permitiu um acompanhamento do mesmo através do tempo, a fim de comparar os resultados e interpretar as reações ocorridas durante seu funcionamento.

Na tabela 2 mostram-se as temperaturas de trabalho e as concentrações de O₂ dissolvido nas amostras coletadas.

Amostra		1	2	3
10/11 17h				
O ₂ (mg/l)	8.72	9.2	8.6	
Temp.(C)	22.1	21.9	22.1	
Amostra		1	2	3
10/11 19h				
O ₂ (mg/l)	9.6	12.2	8.9	
Temp.(C)	22.4	22.2	22.4	

Tabela 2. Temperaturas de trabalho e concentrações de O₂

Observou-se também, na primeira análise das amostras líquidas uma dissolução média de O₂ de 8,84mg/l, que elevou-se para 10,23mg/l na segunda análise, fenômeno decorrente da realização de fotossíntese pelas microalgas presentes no meio.

4 Agradecimento

Agradecimentos à TERMOPE pelo suporte a este trabalho através do projeto P&D TPE 040/2010 e ao PIBIC-POLI.

Referências

- [1] JACO-LOPES, E.; SCOPARO, C. H. G.; QUEIROZ, M. I.; FRANCO, T. T., 2010. Biotransformations of carbon dioxide in photobioreactors.
- [2] STEWART, C.; HESSAMI, M., 2005. A study of methods of carbon dioxide capture and sequestration
- [3] the sustainability of of a photosynthetic bioreactor approach.

- [4] GOUVEIA, L.; Microalgae as feedstock for bio-fuels. Springer briefs in microbiology. 2011
- [5] NAKAMURA, T; SENIOR, C.; OLAIZOLA, M.; CUSHMAN, M.; MASUTANI, S – Capture and sequestration of CO₂ from stationay combustion systems by photosynthesis of Microalgae.
- [6] SHIH-HSIN HO ET. AL., Perspectives on micro-algal CO₂-emission mitigation systems — A review, Biotechnology Advances 29 189–198, 2011
- [7] [1]KUMAR, A.; YUAN, X.; SAHU, A. K.;E. S. J.; LANGEHOVE, H. V., 2010. A hollow fiber membrane photo-bioreactor for CO₂ sequestration from combustion gas coupled with wastewater treatment: A process engineering approach.

Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada

Volume 2 – Número 1 – Outubro 2016

TRABALHOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – 2012-2013

- Análise da energia de compactação de um solo com adição de agregado reciclado da construção civil**
Diogo Cesar – K.P.V. Lafayette **346**
- Avaliação do Consumo de Água em Canteiros de Obra da Região Metropolitana do Recife**
Edson Costa – R.S. Silva **359**
- Análise estatística dos parâmetros geotécnicos dos resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) produzidos na região metropolitana do Recife-PE**
Joao Alberto – E.C.G. Santos **365**
- Esteganografia LSB em Imagens Digitais Baseada em Sequências VDH**
Adenis França – F. Madeiro **369**
- Modelagem Matemática com o Software Mathematica na Simulação Computacional de um Secador de Leito Fluidizado em Regime Estacionário**
Jobson Renan – S.L. Galdino – J.D. Silva **374**
- Redes Neurais Autoassociativas de Arquitetura Profundo para Reconhecimento de Expressões Faciais**
Mila Alcoforado **381**
- Modelagem Computacional para Acidentes de Reatividade em Reatores Nucleares**
Paulo Camara – U.E.F. Alves – F.R.A. Lima – L.S. Castrillo **385**
- Propriedades ópticas lineares e não-lineares de nanopartículas de ouro superconcentradas**
Andrey Damasceno – Luís Arturo Gomez Malagón **391**
- Aplicação da Distribuição de Probabilidade de Weibull nos Estudos Eólicos de Pernambuco**
M. Marinho – R.N. Siqueira Jose Arimateia **398**

Modelagem e otimização de um reator trifásico de leito fixo gás-líquido-sólido (Trickle Bed) para indústria do Petróleo usando a técnica numérica transformada diferencial

Clovis Santana – J. Silva

410

Monitoramento e Controle para um sistema solar de Aquecimento de água industrial

Monaliza Ramos – J. Bione

415

Análise da energia de compactação de um solo com adição de agregado reciclado da construção civil

Barros, D. C. F.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Diogocesar_@hotmail.com

Lafayett, K. P. V.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo *O presente trabalho visa avaliar a influência da energia de compactação no comportamento mecânico de um agregado reciclado, estudando sua aplicação em obras de pavimentação. Desta forma, foram realizados ensaios de laboratório com solo da formação Barreiras, coletado no município do Cabo de Santo Agostinho (RMR), com agregado reciclado de alvenaria coletado em uma obra residencial da cidade do Recife e duas misturas destes materiais. A partir dos resultados obtidos, os quais possibilitaram desde a classificação do agregado reciclado como misto e predominantemente arenoso e do solo areno-argiloso até a percepção do agregado reciclado como mais sensível às energias de compactação aplicadas, concluiu-se que a alternativa de aplicação de agregados reciclados em obras de pavimentação mostra-se relevante e viável, já que algumas composições como a de 50% de solo, 48% de AR e 2% de cimento atendem aos requisitos avaliados na pesquisa para aplicação em algumas camadas do pavimento.*

Abstract *This study aims to evaluate the energy of compaction influence on the mechanical behaviour of a recycled aggregate, studying its application in paving. Thus, soil from “Barreiras” formation, collected in the city of Cabo de Santo Agostinho (RMR), recycled aggregate of the masonry collected in a residential project in the city of Recife and two mixtures of these materials were submitted to laboratory tests. From the results obtained, which allowed the classification of the aggregate and recycled as mixed and predominantly sandy and the soil as sandy-clay and also the perception of the recycled aggregate as more responsive to the applied compaction, it was concluded that the alternative application of recycled aggregates in paving proves relevant and viable, since some compositions as 50% soil, 48% of RA and 2% cement satisfy the requirements evaluated in this research for application in a few layers of the pavement.*

1 Introdução

A indústria da construção civil tem grande importância para o meio econômico e social do planeta. As atividades do setor, contudo, desde a antiguidade, trazem grandes impactos para o meio ambiente, por consumir recursos naturais e gerar quantidade significativa de resíduos.

A partir da década de 70, iniciaram-se as primeiras mobilizações internacionais para tratar da questão ambiental, mas foi a partir da reunião de 1992, a ECO92, que foi implantado o princípio do “desenvolvimento sustentável”. A adoção do conceito que integra desenvolvimento com proteção ao meio ambiente no meio construtivo, torna-se, portanto, fundamental, já que ele consome entre 14% e 50% dos recursos naturais extraídos no planeta [1].

Com base no ponto de vista do desenvolvimento sustentável, a utilização de resíduos da construção e demolição (RCC) mostra-se como uma das principais formas de mitigar os impactos ambientais gerados pelo setor. Pesquisas com este enfoque são cada vez mais frequentes no meio acadêmico e profissional, pois, além de diminuir o consumo dos recursos naturais e consequentemente a geração de resíduos, é uma solução para o problema da deposição irregular dos mesmos.

Dentre as diversas formas de aplicação do RCC, está a utilização em obras de pavimentação, a qual é estudada neste trabalho. É cada vez maior o interesse em pesquisas com o tema no Brasil, já que o cenário apresenta-se com grande carência de pavimentação da malha rodoviária e que este é o principal transporte de cargas e passageiros do país [2]. Além disso, outro atrativo é a questão econômica, pois os agregados reciclados são vendidos a preços inferiores aos granulares normalmente empregados na pavimentação [3].

2 Objetivos

O nosso objetivo com a pesquisa é dar continuidade aos trabalhos realizados com a avaliação do comportamento mecânico do agregado reciclado, a partir da utilização de diferentes energias de compactação, observando os requisitos para aplicação em obras de pavimentação.

3 Revisão bibliográfica

3.1 Resíduos de Construção e Demolição (RCC)

De acordo com a resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os resíduos de construção e demolição são os oriundos de construções,

reformas, reparos e demolições, assim como os resultantes da preparação e escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc. Além disso, eles são classificados como:

Classe A - resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados;

Classe B - resíduos recicláveis para outras destinações;

Classe C - resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis;

Classe D - resíduos perigosos oriundos ou prejudiciais à saúde [4].

3.2 Legislação

Devido ao acelerado crescimento da indústria de construção e da consequente produção de RCC, iniciou-se o sério problema da deposição irregular de resíduos nos centros urbanos. Tornou-se necessária, portanto, a criação de uma legislação e fiscalização firmes para tratar da gestão dos resíduos.

O cenário brasileiro passou por mudanças positivas na questão ambiental a partir da elaboração da resolução nº 307 do CONAMA em 2002 e de uma série de normas regulamentadoras sobre gerenciamento e aproveitamento de RCC com início em 2004, as quais tiveram por objetivo a implantação de diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, assim como as ações necessárias para minimizar os impactos ambientais. Dentre as determinações, pode-se destacar a proibição da disposição irregular dos resíduos e sua destinação adequada de acordo com a classificação do resíduo e a implementação do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, o qual deve ser elaborado pelos Municípios e Distrito Federal.

3.3 Geração de Resíduos

No Brasil, foram gerados cerca de 33 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição em 2011 [5]. A geração exagerada de RCC tem provocado problemas de ordem econômica, social e ambiental, já que grande parte desse material é disposta de forma irregular em locais como vias, rios, córregos, terrenos baldios e áreas de mananciais [6].

Atualmente, os resíduos da construção civil produzidos na RMR são destinados a uma Área de Transbordo e Triagem localizada em Camaragibe, a Ciclo Ambiental, a qual recebe resíduo de Classe A e o reaproveita através da britagem, possibilitando seu retorno à cadeia produtiva. Segundo o SINDUSCON, contudo, apenas 5% dos RCC são transportados para a ATT citada [7].

3.4 Reciclagem e Reuso do RCC

A reciclagem dos RCC pode trazer vários benefícios, a exemplo da redução do consumo de recursos naturais não renováveis, da minimização de áreas destinadas para aterros, já que será dada uma utilidade para os resíduos, do menor consumo de energia durante o processo de produção de materiais de construção e da diminuição da poluição. Além destes, é notável o aproveitamento econômico, pois há uma diminuição dos gastos com a gestão dos resíduos e um menor consumo de materiais naturais com a possibilidade de reaproveitamento do RCC nos próprios canteiros de obra e a venda ou doação para instituições licenciadas.

Para que possa ser utilizado como material de construção, o RCC precisa ser classificado como do tipo A, segundo a Resolução nº 307 do CONAMA e deve sofrer um processo de reciclagem para dar origem a um novo produto: o agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil (AR) [8]. O beneficiamento do resíduo é feito através de processos de trituração e peneiramento do material graúdo.

3.5 Uso em obras de pavimentação

Nos últimos anos, tem se tornado crescente a utilização de agregados reciclados da construção civil e de demolição em camadas de base e sub-base de pavimentos [9]. O uso dos materiais alternativos é estimulado pelos altos custos, pela grande demanda dos agregados naturais e pelos impactos ambientais produzidos na extração, já que os agregados reciclados atuam como substitutos parciais ou totais dos agregados normalmente utilizados.

O uso do agregado reciclado em pavimentação mostra-se, então, como uma alternativa muito interessante para a substituição dos materiais naturais, não-renováveis, já que milhares de quilômetros de vias brasileiras ainda não são pavimentadas. De fato, de acordo com dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), em 2012, 80% da malha rodoviária brasileira não é pavimentada, contabilizando cerca de 1.359.061 km.

Entretanto, torna-se necessário levar em consideração a heterogeneidade do resíduo, fenômeno que pode acarretar em comportamentos diferentes dos agregados naturais normalmente empregados em pavimentação.

4 Metodologia

Por não existir normas técnicas específicas para a realização de ensaios de laboratório com RCC, foram utilizadas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Departamento Nacional de Infraestrutura e Rodagens (DNIT), as quais prescrevem os métodos para utilização de amostras de solos.

4.1 Materiais

A seleção do solo foi baseada pela facilidade de obtenção e por existir algumas pesquisas na área, como a tese de doutorado de Lafayette (2006), onde foram estudados solos da Formação Barreiras e Solos residuais de Granito. Foram descartados solos contendo matéria orgânica e muito óxido de ferro, e solos que, após sua compressão na mão, se esfaleassem, caracterizando um alto teor de areia, pois quando incorporados ao agregado reciclado estes teores iriam ficar muito mais elevados.

Foi coletado solo localizado no município do Cabo de Santo Agostinho (RMR). A amostra obtida foi armazenada em sacos plásticos e transportada para o Laboratório Avançado de Construção Civil (LACC) da Escola Politécnica de Pernambuco. A Figura 1 apresenta a área na qual foi retirada a amostra de solo para os ensaios de laboratório.



Fig. 1. Local de coleta do solo

A coleta de RCC foi feita em uma obra residencial da Cidade do Recife, na fase de alvenaria. O total de material coletado foi de 619,69 kg, como mostra a Figura 2. Todo o resíduo foi transportado em bombonas e armazenado no

Laboratório Avançado de Construção Civil (LACC) da Escola Politécnica de Pernambuco.



Fig. 2. Coleta de amostras do RCC

Devido à verificação de uma baixa resistência nos corpos de prova em misturas sem adição de cimento, surgiu o interesse de adicionar o material à composição. O cimento apresenta propriedades de aglomerante capaz de adquirir resistência a esforços mecânicos quando hidratado, por isso foi escolhido o cimento do tipo CP II – E 32 com o objetivo de ser adicionado na proporção de 2% à mistura solo e RCC e melhorar suas propriedades mecânicas. O teor de apenas 2% de cimento em relação ao peso seco da mistura foi considerado, porque uma quantidade maior de cimento inviabilizaria certas obras como de pavimentação sob o ponto de vista econômico [10]. Algumas características do cimento estudado podem ser encontradas na NBR 11578/91 [11]:

Tabela 1. Características do cimento da classe 32

Características e propriedades		Unidade	Classe 32
Finura	Resíduo na peneira 75µm	%	≤ 12
	Área específica	m ² /kg	≥ 260
Tempo de início de pega		h	≥ 1
Expansibilidade a quente		mm	≤ 5
Resistência à compressão	3 dias de idade	MPa	≥ 10
	7 dias de idade	MPa	≥ 20
	28 dias de idade	MPa	≥ 32

4.2 Benfica do RCC

O beneficiamento consistiu na diminuição das partículas do resíduo com o auxílio de um britador de mandíbula. Para garantir que todo o material britado fosse menor que 4,8mm, foi utilizada uma peneira nº 4 junto ao britador. Depois de finalizado o beneficiamento, toda a amostra foi dividida em quatro partes iguais para realizar o processo de quarteamento. Após a homogeneização, todo o material foi armazenado em bombonas no LACC.

4.3 Composição Gravimétrica

A composição gravimétrica tem por objetivo conhecer as frações dos materiais constituintes. Para fazê-la, primeiramente peneirou-se o material contido nas bombonas, a fim de separar a parte graúda da miúda. Em seguida, lavou-se o material para retirar os finos da amostra e os grãos miúdos restantes. Após a secagem, foi realizada, então, a segregação do material através da observação. Por fim, foram pesadas as frações dos constituintes do RCC e obtida sua porcentagem em relação à massa total da amostra.

4.4 Análise Granulométrica

O ensaio foi realizado segundo a NBR 7181/84 [12]. Para a realização deste ensaio, foram separados 1500g da amostra e passados na peneira nº 10 (2,0mm), para separar o material miúdo do graúdo (figura 3). Em seguida, lavou-se na própria peneira o material graúdo retido, a fim de remover os grãos com dimensão inferior a 2,00 mm restantes e retirar os finos da amostra.

Do material passante, foram separados 70g, no caso do solo, ou 120g, no caso do AR, para a sedimentação e peneiramento fino, e ainda cerca de 100g para determinação da umidade higroscópica em estufa à temperatura de 105° C a 110° C.



Fig. 3. Separação do material graúdo e miúdo

Para o peneiramento do material miúdo utilizou-se a amostra resultante do ensaio de sedimentação. O material contido na proveta foi transferido para a peneira de nº 200 e então lavado à baixa pressão, com o objetivo de remover o material pulverulento, ou seja, com grãos de diâmetro menor que 0,075mm (figura 4). Posteriormente, o material retido foi levado para secagem na estufa até atingir constância de massa.



Fig. 4. Lavagem do material miúdo na peneira nº 200.

O peneiramento da fração graúda foi realizado nas peneiras nº 4 e nº 10, enquanto que a fração miúda foi peneirada na série de peneiras de números 16, 30, 40, 50, 100 e 200.

Para a realização da sedimentação, separou-se a quantidade suficiente de material passante na peneira nº 10, e, em seguida, misturou-se, em um béquer com 125 ml de água destilada, 5,71g do defloculante hexametáfosfato de sódio. A solução preparada foi então adicionada à amostra e agitada com auxílio do bastão até homogeneizar a solução final. A função do defloculante foi de quebrar as ligações existentes entre os grãos do solo fino.

Em seguida, a solução foi mantida em repouso por 24h e, logo após, removeu-se todo o material da cápsula, colocando-o em um dispersor eletrônico. O material foi então transferido para uma proveta e esta foi completada com água destilada até atingir 1000 ml. A proveta foi então agitada por 1 minuto e colocada na bancada (Fig. 5), realizando-se as leituras com o densímetro para os tempos decorridos de 30seg, 1min, 2min, 4min, 8min, 15min, 30min, 1h, 2h, 4h, 8h e 24h.



Fig. 5. Material nas provetas para sedimentação.

4.5 Limites da Consistência

O teor de umidade, por si só, não é suficiente para se determinar o estado das argilas. É necessário analisá-lo de acordo com os teores de umidades correspondentes a seus comportamentos. Esses teores são os limites de consistência ou limites de Atterberg (PINTO, 2006).

No presente estudo, foram determinados os limites de liquidez e plasticidade dos materiais avaliados, segundo as NBR's 6459 e 7180 de 1984 [13] [14].

4.6 Massa específica

A massa específica do solo ou densidade real dos grãos (γ_s) é a relação entre as partículas sólidas e o seu volume. Este índice físico é determinado em laboratório e foi obtido com base na NBR 6508/84 [15].



Fig. 6. Bomba de vácuo utilizada no ensaio de massa específica.

4.7 Ensaios de Compactação

Segundo Pinto (2006), a compactação dos solos tem em vista dois aspectos: aumentar o contato entre os grãos e torná-lo mais homogêneo. O aumento da densidade ou diminuição do índice de vazios é desejável não por si, mas devido ao melhoramento de diversas propriedades do solo, como o aumento da resistência e redução da permeabilidade [16].

Atualmente, a compactação dos solos é aplicada em diversas obras de engenharia, como a pavimentação, construção de barragens de terra, contenção de taludes e aterros em geral. Para isto, é necessário conhecer as características do solo, que são verificadas através de ensaios em laboratório.

Os ensaios de compactação foram executados, atendendo aos requisitos da NBR 7182/86 [17]. Todos as compactações foram realizadas com reuso de material e as amostras foram preparadas com secagem prévia até atingir a umidade higroscópica. As compactações foram realizadas em cilindro grande, para o solo, para o AR e para as misturas 50% solo + 50% AR e 75% solo + 25% AR.



Fig. 7. Compactação do corpo-de-prova.

4.8 Resistência à compactação Simples

Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados com misturas de solo, AR e cimento, segundo a NBR 12770/92 [18], para energia de compactação intermediária, e segundo a NBR 12025/90 [19], para energia de compactação modificada. Os cilindros utilizados para moldagem possuíam as seguintes dimensões para altura e diâmetro respectivamente 5cm x 10cm e 10cm x 12,8cm.



Fig. 8. Corpos-de-prova em câmara úmida



Fig. 9. Rompimento do corpos-de-prova

5 Apresentação e análise dos resultados

A seguir serão abordados os resultados obtidos pelos ensaios de laboratório e suas respectivas análises das amostras de RCC na fase de alvenaria, de solo e das misturas destes materiais.

5.1 Composição Gravimétrica do RCC

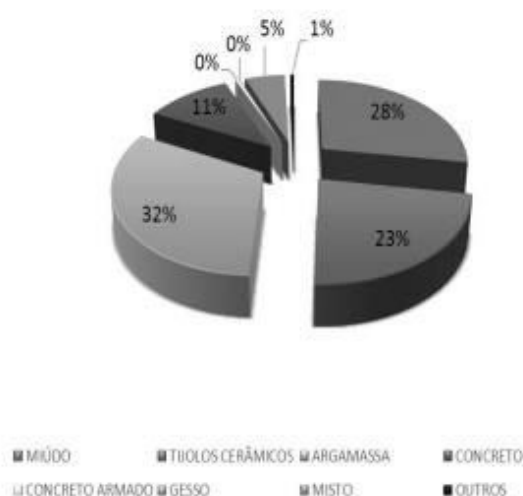


Fig. 10. Composição Gravimétrica do RCC

Através da análise da figura 10, pode-se observar que o RCC da fase de alvenaria é predominantemente composto por agregados miúdos, concreto, argamassa e material cerâmico, sendo 99% dos materiais constituintes da classe A. Então, o agregado reciclado pode ser classificado como “misto”.

O teor de 1% de materiais indesejáveis, como gesso, plástico, papel, madeira, vidro e metal, é considerado admissível pela NBR 15115/2004 [20] para aplicação em obras de pavimentação.

5.2 Análise Granulométrica

O ensaio de granulometria do AR foi realizado antes e após a compactação com energia modificada. As curvas granulométricas estão apresentadas na figura 11.

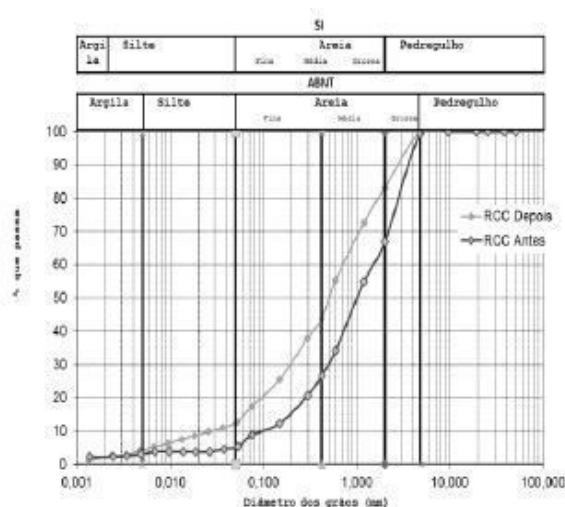


Fig. 11. Curvas granulométricas do AR antes e após compactação modificada.

Ao analisar a tabela 2, percebe-se que a areia é predominante na amostra de alvenaria, compondo aproximadamente 94% da amostra, o que evidencia as características de material arenoso apresentadas pelo AR. Resultados semelhantes foram encontrados em Macedo (2013) [10]. Em menor proporção, tem-se a argila e o silte em todas as amostras.

É possível concluir também que, para a compactação de energia modificada, houve uma significativa quebra dos grãos do AR. Este fenômeno pode ser explicado pela baixa resistência da fração de material cerâmico presente no RCC.

Tabela 2. Percentual de pedregulho, areia, silte e argila do AR, segundo ABNT.

Amostra	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
AR	0,76	93,99	2,14	3,12
AR pós-compactação	0,02	87,45	8,37	4,16

Foram avaliados também os coeficientes de uniformidade (Cu) e curvatura (Cc) do agregado reciclado, assim como a porcentagem de material passante na peneira nº 40 (0,425mm), a fim de classificá-lo quanto à granulometria e mensurar a quantidade de finos da amostra. O agregado reciclado de alvenaria pôde, então, ser classificado como bem graduado e, tendo em vista a NBR 15116/2004 [21],

atendente aos requisitos para utilização em obras de pavimentação do ponto de vista da granulometria (tabela 3).

Tabela 3. Porcentagem passante na peneira 0,42mm, coeficientes de uniformidade e curvatura do AR

Amostra	Porcentagem passante na peneira 0,42mm (%)	Cu	Cc
AR	26,69	15,18	1,59
NBR 15116	10 a 40	>10	Não consta

Para o solo, a análise granulométrica demonstrou que, apesar de a fração argilosa ser próxima de 50%, o solo é predominantemente arenoso, sendo classificado como areno-argiloso. Constatou-se também que as porcentagens de silte e pedregulho são baixas. As amostras de solo não apresentaram coeficiente de uniformidade (Cu) e curvatura (Cc), devido a sua fração elevada de argila.

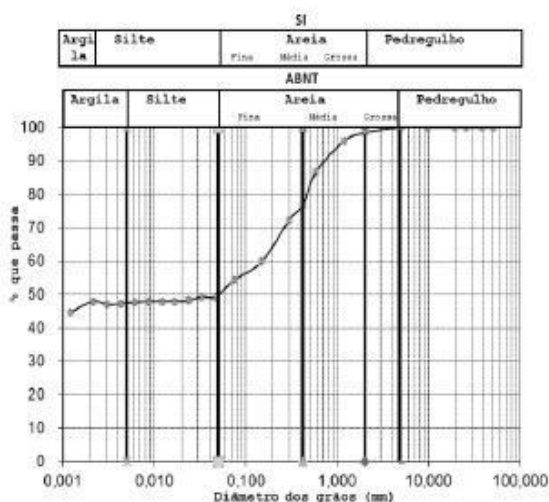


Fig. 12. Curva granulométrica do solo.

Tabela 4. Percentuais de pedregulho, areia, silte e argila do solo

Amostra	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Solo	0,06	50,08	2,44	47,42

5.3 Limites de consistência

O material de AR não apresentou limites de Atterberg, enquanto que o solo apresentou limite de liquidez (LL)

igual a 41,05%, limite de plasticidade (LP) igual a 20,70% e, portanto, índice de plasticidade (IP) igual a 19,90%. O solo e o AR puderam ser classificados, então, serem classificados segundo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e o Transportation Research Board (TRB).

Tabela 5. Classificação do solo e AR segundo SUCS e TRB

Classificação		
Material	SUCS	TRB
Solo	CL – Argila de baixa compressibilidade	A7-6
Agregado reciclado misto	SW- Areia bem graduada	A-2

5.4 Massa específica

Através do ensaio de massa específica, foram obtidos os resultados de 2,61 g/cm³ para o AR e 2,65 g/cm³ para o solo à temperatura de 20 °C. Estes resultados foram próximos dos valores encontrados por Macedo (2013) [10].

5.5 Umidade ótima e massa específica seca máxima

Através da análise das tabelas 6 e 7, percebe-se que, para ambas as energias de compactação aplicadas, houve uma diminuição da umidade ótima e aumento da massa específica seca máxima à medida que a porcentagem de AR aumenta nas composições. Esta tendência, contudo, não é observada para a compactação do agregado reciclado isolado, o que pode ser explicado pela significativa quebra dos grãos do agregado reciclado de alvenaria. O fenômeno aumenta a porcentagem de finos da amostra e, consequentemente, a taxa de absorção de água a medida que ele é compactado.

É importante ressaltar também que os resultados apresentados estão de acordo com a literatura, pois a mesma afirma que a presença de frações mais granulares em um material, quando estes se encontram compactados, indicam menores umidades ótimas e maiores pesos específicos (MACEDO, 2013).

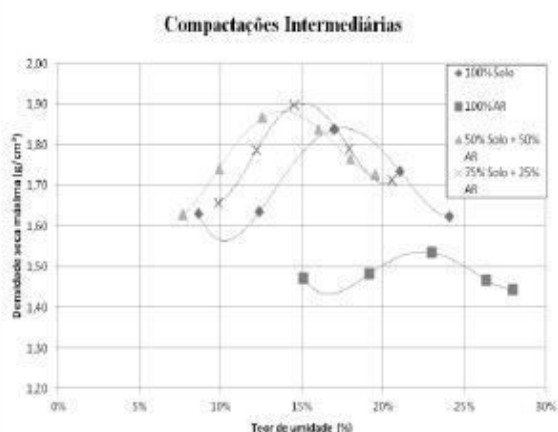


Fig. 13. Curvas de compactação para energia intermediária

Tabela 6. Resultados das compactações com energia proctor intermediária para as diferentes misturas

Composições	Solo	25% AR	50% AR	AR
Umidade ótima (%)	18,96	14,74	14,24	22,96
Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	1,81	1,87	1,87	1,535

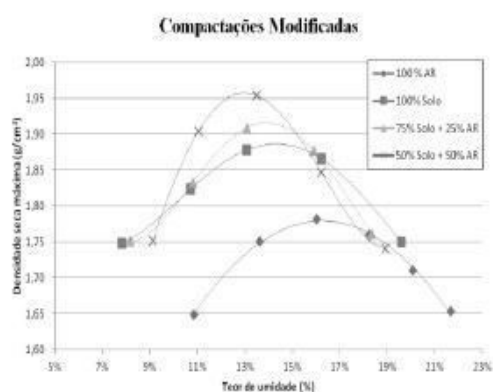


Fig. 14. Curvas de compactação para energia modificada.

Tabela 7. Resultados das compactações com energia proctor modificada para as diferentes misturas

Composições	Solo	25% AR	50% AR	AR
Umidade ótima (%)	14,59	14,24	12,76	16,13
Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	1,88	1,91	1,95	1,78

De acordo com Pinto (2006), um aumento da energia aplicada na compactação conduz a uma maior densidade seca máxima e uma menor umidade ótima de compactação, deslocando-se a curva para esquerda e para cima. Este efeito foi verificado nos ensaios realizados para as amostras de solo, agregado reciclado e as composições, sendo mais acentuados nas amostras com maior percentuais de AR [16] (figura 15).

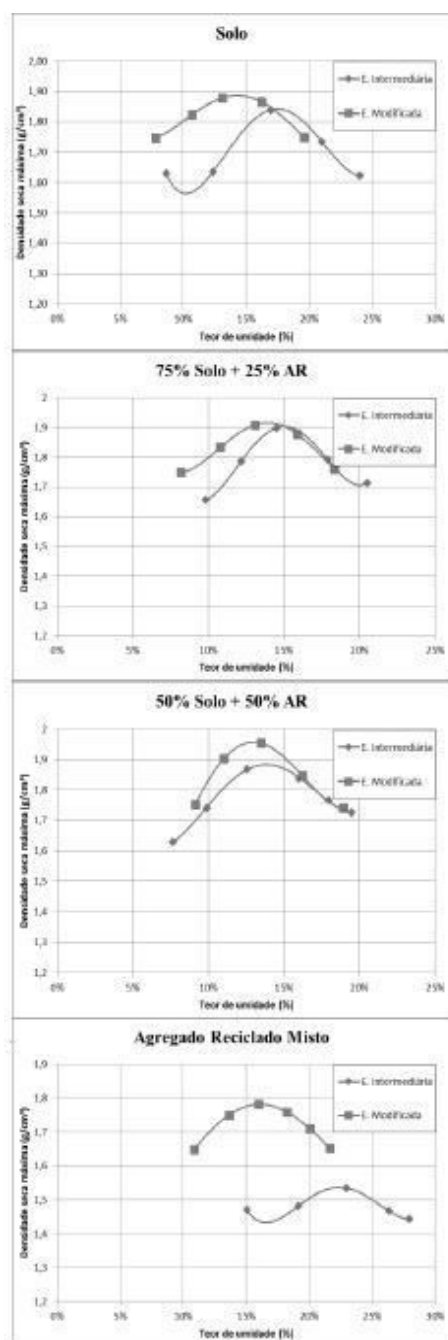


Fig. 15. Curvas com energias intermediária e modificada de compactação para as diferentes composições.

Os efeitos provocados pelo aumento da energia de compactação foram avaliados também por composição. O estudo das tabelas 8,9,10 e 11 mostra que a influência da energia de compactação no aspecto da umidade ótima e densidade seca máxima se sobressaiu nas composições unicamente de solo ou agregado reciclado.

Tabela 8. Resultados dos ensaios de compactação com energias intermediária e modificada para o solo

Energias de compactação	Umidade ótima (%)	Densidade seca máxima (g/cm³)
Intermediária	18,96	1,81
Modificada	14,59	1,88
Acréscimo ou diminuição (%)	-23,05	3,87

Tabela 9. Resultados dos ensaios de compactações com energias intermediária e modificada da composição com 25% de AR

Energias de compactação	Umidade ótima (%)	Densidade seca máxima (g/cm³)
Intermediária	15,45	1,87
Modificada	14,24	1,91
Acréscimo ou diminuição (%)	-7,83	2,14

Tabela 10. Resultados dos ensaios de compactação com energias intermediária e modificada para a composição com 50% de AR

Energias de compactação	Umidade ótima (%)	Densidade seca máxima (g/cm³)
Intermediária	13,96	1,87
Modificada	12,76	1,95
Acréscimo ou diminuição (%)	-8,60	4,28

Tabela 11. Resultados dos ensaios de compactação com energias intermediária e modificada para o agregado reciclado

Energias de compactação	Umidade ótima (%)	Densidade seca máxima (g/cm³)
Intermediária	22,96	1,535
Modificada	16,13	1,78
Acréscimo ou diminuição (%)	-29,75	15,96

5.6 Resistência à compressão simples

Para a energia intermediária, foram moldados corpos de prova com as composições 75% solo + 23% AR + 2% Cimento e 50% solo + 48% AR + 2% Cimento e estes foram rompidos aos 7 e 28 dias, enquanto que, para a energia modificada, foram moldados corpos de prova com a composição 50% solo + 48% AR + 2% Cimento para serem rompidos aos 7 dias.

As resistências a compressão simples foram obtidas pela média das tensões máximas suportadas pelos corpos de prova para cada mistura.

No que se refere às moldagens com energia intermediária de compactação, analisando a figura 16, pode-se

verificar que em ambas as misturas houve um acréscimo de resistência ao longo do tempo, assim como uma diminuição das deformações para uma mesma carga aplicada. O comportamento verificado se deve ao ganhos de resistência e rigidez oferecidos pelo processo de calcificação do cimento durante o período de cura.

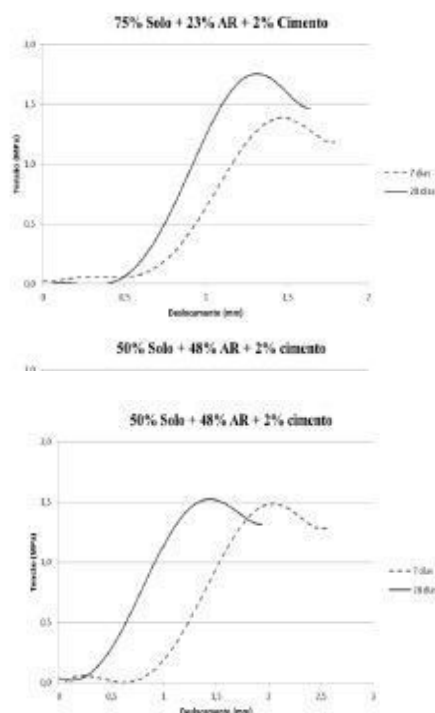


Fig. 16. Curvas de resistência à compressão das misturas aos 7 e 28 dias.

Pode-se verificar também, através da figura 17 e da tabela 12, um aumento de resistência mais significativo para os corpos de prova com a mistura 75% solo + 23% AR + 2% cimento. De fato, este comportamento se verifica em materiais mais argilosos, devido ao maior teor de aglomerantes. Para a mistura com 50% solo + 48% AR + 2% cimento, o aumento de resistência com o tempo foi muito baixo. Isto demonstra, então, que o teor de cimento na mistura não foi suficiente para permitir um ganho relevante de resistência, assim como foi notado por Souza (2012) [22].

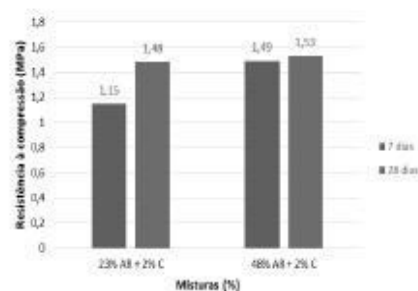


Fig. 17. Resistência à compressão das misturas aos 7 e 28 dias.

Tabela 12. Resistência à compressão dos corpos de prova para energia intermediária.

Resistência à compressão (MPa)			
Composição	Aos 7 dias	Aos 28 dias	Acréscimo (%)
75% solo + 23% AR + 2% cimento	1,15	1,48	28,70
50% solo + 48% AR + 2% cimento	1,49	1,53	2,68

Para a energia modificada de compactação, foram obtidos o resultados para a mistura com 48% de AR os quais estão apresentados na figura 18 e tabela 13.

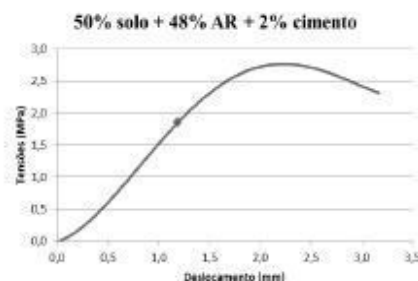


Fig. 18. Curva de RCS com energia modificada para a mistura com 48% de AR aos 7 dias.

Tabela 13. Resistência para energia modificada da mistura com 48% de AR.

Composição	Resistência aos 7 dias (MPa)
50% Solo + 48% AR + 2% Cimento	2,76

Considerando a figura 19 e tabela 14, verificou-se que a mistura estudada apresentou um aumento significativo na resistência à compressão aos 7 dias com o aumento da energia aplicada na compactação, assim como um aumento da capacidade de deformação do material.

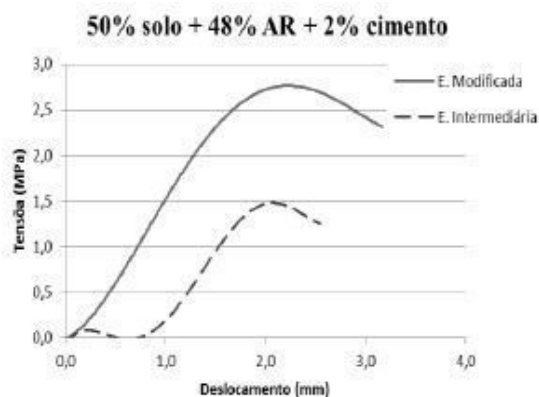


Fig. 19. Curvas de RCS para as energias intermediária e modificada da mistura com 48% de AR aos 7 dias.

Tabela 14. Resistências à compressão com energias intermediária e modificada para a mistura com 48% de AR aos 7 dias.

Resistência à compressão aos 7 dias (MPa)			
Composição	E. Intermediária	E. Modificada	Acréscimo (%)
50% solo + 48% AR + 2% cimento	1,49	2,76	85,23

Referências

- [1] P. C. Schenini, A. M. Bagnati e A. F. Cardoso, "Gestão de Resíduos da Construção Civil," *Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário*, pp. 1-13, 2004.
- [2] ANTT, "Agência Nacional de Transportes Terrestres," 2002. [Online]. Available: www.antt.gov.br. [Acesso em Dezembro 2012].
- [3] R. d. S. Motta, "Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego," São Paulo, 2005.
- [4] CONAMA, "Conselho Nacional do Meio Ambiente," Ministério do Meio Ambiente, 2002. [Online]. Available: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>. [Acesso em 27 Outubro 2012].
- [5] ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*, São Paulo, 2011.
- [6] R. d. S. Motta, L. L. B. Bernucci e E. de Moura, "Aplicação de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de pavimentos," *XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, 2004.
- [7] CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente, *Plano Estadual de Resíduos Sólidos*, 2012.
- [8] F. d. C. Leite, "Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos," São Paulo, 2007.
- [9] C. S. Poon e D. Chan, *Construction and Building Materials*, 8 ed., vol. 20, Hong Kong: Elsevier, 2006, pp. 578-585.
- [10] T. F. Macedo, "Análise do desempenho mecânico da mistura agregado reciclado-solo-fibra-cimento para pavimentação," Recife, 2013.
- [11] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 11.578: Cimento Portland Composto - Especificação, Rio de Janeiro, 1996.
- [12] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7181: Solo - Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, 1984.
- [13] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6459: Solo - Determinação do Limite de Liquidez, Rio de Janeiro, 1984.
- [14] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7180: Solo - Determinação do Limite de Plasticidade, Rio de Janeiro, 1984.
- [15] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm - Determinação da massa específica., Rio de Janeiro, 1984.
- [16] C. d. S. Pinto, *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas*, 3ª Edição ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

- [17] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7182: Solo - Ensaio de Compactação, Rio de Janeiro, 1986.
- [18] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 12770: Solo coesivo – Determinação da resistência à compressão não confinada, Rio de Janeiro, 1992.
- [19] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 12025: Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 1990.
- [20] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15.115: Resíduos Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação, Rio de Janeiro, 2004.
- [21] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos, Rio de Janeiro, 2004.
- [22] L. A. d. Souza, “Avaliação das propriedades do Resíduo da Construção Civil RCC como subsídio para confecção de tijolos de solo-cimento.,” Recife, 2012.
- [23] V. M. Corneli, “Análise da gestão de resíduos de construção e demolição no município de Campo Mourão/Paraná,” Maringá, 2009.

Avaliação do Consumo de Água em Canteiros de Obra da Região Metropolitana do Recife

Costa Filho, E.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
edsoncosta.egn@gmail.com

Silva, R. S.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
simonerosa@poli.br

Resumo *O setor da construção civil consome grande volumes de água potável das cidades. Este artigo objetiva apresentar indicadores sobre o consumo de água em canteiros de obra da Região Metropolitana do Recife, realizar as devidas interpretações desses números e propor medidas para reduzir o consumo. Analisaram-se os seguintes indicadores: Quantidade de funcionários e consumo de água mensal as obras, relação entre custo total mensal gasto com a água pelas obras e funcionários, consumo diário de água para fins pessoais dos funcionários. Foram selecionados 2 canteiros de obra da Moura Dubeux Engenharia (MD Engenharia), observando as atividades de consumo de água, bem como possíveis focos de desperdício e medidas de reúso, além das medições setorializadas das instalações hidrossanitárias. Os resultados mostram que o consumo dos trabalhadores apresenta variações no tempo, devido a demanda de água utilizada para produção. Mesmo assim, medidas redutoras devem ser aplicadas para contribuir com o meio ambiente.*

Abstract *The civil construction industry consumes large volumes of drinking water of cities. This article aims to present indicators on water consumption in construction sites in the metropolitan region of Recife, perform the appropriate interpretations of these numbers and propose measures to reduce consumption. They analyzed the following indicators: amount of employees and monthly water consumption the works, relationship between monthly total cost spent on the water by the works and staff, daily consumption of water for personal purposes. 2 construction sites were selected from the Moura Dubeux Engenharia (MD engineering), observing the activities of water consumption, as well as possible sources of waste and reuse measures, in addition to the specialized measurements plumbing plants. The results show that the consumption of workers presents variations in time, due to demand for water used for production. Even so, reducing measures must be applied in order to contribute to the environment.*

1 Introdução

A ONU desenvolveu uma série de encontros sobre o tema da escassez de água. O primeiro deles foi a Conferência das Nações Unidas para a Água (1977). Posteriormente, a Década Internacional de Abastecimento da Água Potável e Saneamento (1981-1990) e a Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente (1992) e a Cúpula da Terra (1992). Todos eles desencadearam uma busca por soluções, por parte dos grandes setores industriais, para o problema do descaso com a água.

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável - CBCS, afirma que o setor da construção civil consome boa parte da água potável no mundo, sendo que em áreas urbanizadas o consumo é de cerca de 50% da água potável fornecida à região. A substituição do uso da água potável por fontes alternativas adequadas poderá diminuir esse valor para algo entre 30 a 40 %, segundo o CBCS. A cidade do Recife não está isenta dessa estatística.

Assim, esse artigo objetiva discutir, de modo geral, a questão do consumo de água nas obras, baseando-se em indicadores das obras e relatório de monitoramento, além de contribuir com a divulgação de políticas de conservação e uso consciente da água em centros urbanos, especificamente, com a conscientização da sociedade com relação à utilização racional da água.

2 Metodologia

Com a realização de pesquisa bibliográfica, selecionaram-se algumas construções verticais em processo de execução da MD Engenharia, empresa atuante na construção de condomínios e edifícios de luxo no Nordeste.

2.1 Seleção de obras

2 canteiros de obras foram escolhidos para monitoramento mensal do consumo de água pelos funcionários. Essas obras apresentaram as melhores condições para a instalação dos equipamentos de medição. Ambas as obras são construções de prédios residenciais, cujos nomes são: João Heráclio e Porto Ravena.

2.2 Mananciais de abastecimento de água

Para as obras estudadas, percebe-se que a obra João Heráclio utiliza água proveniente de caminhão-pipa e COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento – Concessionária de Água de Pernambuco). Já a obra Porto Ravena obtém água somente através de caminhão-pipa.

2.3 Uso e Armazenamento de água nas obras

A água adquirida é guardada em caixas d'água, cujos volumes dependem da finalidade da provável utilização da água. Nas obras, a água destinada as atividades higiênicas funcionários está locada em reservatórios específicos. O restante da água está guardado para as atividades de consumo destinadas a produção.

A água é usada em quase todos os serviços de engenharia, às vezes como componente e outras como ferramenta. Entra como componente nos concretos e argamassas, e na compactação dos aterros e como ferramenta nos trabalhos de limpeza, resfriamento e cura do concreto (NETO, 2005).

A Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho, a NR – 18 citam os itens básicos para o trabalhador desenvolver suas atividades profissionais e quantifica o número mínimo de equipamentos por número de funcionários, sendo que, refeitórios, instalações hidrossanitárias e bebedouros estão relacionados com o uso de água nos canteiros. No refeitório há a presença de lavatório para as mãos, cozinha, etc.. As instalações hidrossanitárias compõem os vestiários e banheiros, onde os funcionários realizam suas atividades pessoais. Os bebedouros ficam em alguns pontos da obra, para que os trabalhadores tenham acesso à água para beber.

2.4 Reúso e desperdício de Água

Na obra João Heráclio, identificou-se uma medida simples, mas que contribui com a missão de reutilizar e poupar água: o reaproveitamento da água utilizada no lavatório para o mictório. As figuras 01 e 02 mostram isso. Esse mecanismo consiste em direcionar a água que cai no assoalho da pia para um local onde existe uma encanação, que irá escoar a água para o local do mictório. Embora seja em pequena dimensão, essa medida mostra que é possível realizar iniciativas criativas para contribuir a implantação de conceitos e modelos de utilização sustentável dos recursos hídricos. A obra Porto Ravena não possui essa medida.



Figura 01 – Trabalhador lavando as mãos no João Heráclio.



Figura 02 – A água utilizada é conduzida para o mictório. João Heráclio.

Além disso, há presença de cartazes informativos com instruções para os trabalhadores com relação a alertas e instruções sobre o uso da água. Isso são medidas que visam envolver o funcionário nos temas ambientais, tentando mostrar a importância de utilizar a água com sabedoria. As figuras 03 e 04 testificam essa informação.



Figura 03 – Cartazes de alerta no Porto Ravena.



Figura 04 – Alerta no João Heráclio.

2.5 Obtenções dos dados das obras

Os dados para realização da pesquisa foram obtidos em consultas ao setor do almoxarifado e escritório de engenharia das obras. As medições setorizadas foram realizadas nas redondezas do setor de vestiário, contabilizando apenas o volume gasto com higiene pessoal dos funcionários, excluindo assim, a quantidade de água usada para bebedouros, cozinha, etc.

2.6 Cálculos dos indicadores

Os indicadores utilizados na pesquisa foram:

- Quantitativo de funcionário mensal;
- Volume de água consumido mensal pela obra;
- Volume de água consumido pelos funcionários mensalmente;
- Volume consumido por funcionário por dia;
- Relação entre a quantidade consumida de água, na obra e pelos trabalhadores;

O gráfico 01 mostra os quantitativos mensais dos funcionários nas obras Porto Ravena e João Heráclio.



Gráfico 01 – quantitativos de funcionários mensais das obras.



Gráfico 02 – Volume mensal consumido pelas obras.

Os volumes de água consumidos mensalmente pelos funcionários foram obtidos através das leituras realizadas nos hidrômetros. As tabelas 01 e 02 mostram as medições realizadas e seus respectivos valores para, respectivamente, Porto Ravena e João Heráclio.

Tabela 01 – Consumo dos funcionários no Porto Ravena.

Medições	Data	Valores (m³)
1º MEDIÇÃO:	07/01/2013	249
2º MEDIÇÃO:	07/02/2013	149
3º MEDIÇÃO:	08/03/2013	48
4º MEDIÇÃO:	08/04/2013	-
5º MEDIÇÃO:	07/05/2013	117
6º MEDIÇÃO:	07/06/2013	170
7º MEDIÇÃO:	08/07/2013	192
8º MEDIÇÃO:	07/08/2013	172

Tabela 02 – Consumo dos funcionários no João Heráclio.

Medições	Data	Valores (m³)
1º MEDIÇÃO:	15/02/2013	140
2º MEDIÇÃO:	15/03/2013	128
3º MEDIÇÃO:	15/04/2013	118
4º MEDIÇÃO:	15/05/2013	90
5º MEDIÇÃO:	14/06/2013	99
6º MEDIÇÃO:	17/07/2013	-
7º MEDIÇÃO:	15/08/2013	34

A expressão que define o consumo de um funcionário por dia é expresso por:

$$\text{consumo.diario} = \frac{\text{consumo}}{20} \quad (1)$$

, onde Consumo.diario = Consumo de um funcionário por dia;

Consumo = Medições realizadas no mês considerado;
20 = número de dias úteis de trabalho em 1 mês;

A tabela 03 informa uma análise estatística-descritiva dos valores obtidos.

Tabela 03 – Estatística-descritiva do volume de água

Estatística descritiva - Volume de água, em litros, por dia, consumido por 1 funcionário					
Obras	Média	Desvio - Padrão	Coef. de variação	Mediana	Variância
Porto Ravena	92,17	26,05	0,2827	101	678,74
João Heráclio	89,00	43,60	0,4899	92	1901,33

A relação entre o volume de água consumido pela obra e pelos trabalhadores pode ser obtida através da expressão:

$$\text{consumo.diario} = \frac{\text{consumo}}{20} \quad (2)$$

onde:

C = consumo de trabalhadores por consumo da obra;

Vol.total.mensal = volume gasto na obra no mês considerado;

A tabela 04 mostra esses valores.

Tabela 04 – Relação de consumo entre funcionários e obra

Relação entre o consumo de água dos funcionários e da obra em geral						
Obras	Meses/2013					
	jan	fev	mar	abr	mai	jun
Porto Ravena	****	0,429	0,516	0,461	0,372	0,458
João Heráclio	0,935	0,336	0,153	****	0,310	0,467

2.7 Medidas para redução do consumo

ANA (2005) propõe medidas que podem ser aplicadas nos canteiros de obra para monitoramento do consumo, junto com medidas educativas e uso de fontes alternativas.

A instalação de um sistema de gestão de água, munido de um monitoramento do consumo a partir da instalação de hidrômetros para as áreas de uso doméstico de água, como as áreas de ambientes sanitários, refeitórios, constituem uma grande oportunidade para reduzir, através do controle, os gastos com água pelos funcionários.

Para se utilizar fontes alternativas, é necessário fornecer uma água cujos padrões estejam de acordo com as especificações das atividades que se destinam, a fim de garantir a qualidade das construções, bem como a saúde e segurança dos funcionários.

A utilização de modelos de equipamentos economizadores representa um ganho na implantação de medidas poupadoras de água. Porém, se faz necessário estudar a viabilidade econômica da do uso destes equipamentos, pois por ser uma estrutura temporária, o canteiro de obras não se mostra o local mais adequado para se utilizar produtos mais requintados.

2.8 Tecnologias

Segue abaixo algumas tecnologias que podem ser exploradas em canteiros de obras.

- Arejador: é um dispositivo fixado na saída da torneira, para reduzir a passagem da água. Os arejadores diminuem cerca de 50% o jato das torneiras, resultando em vazões entre 0,13 l/s e 0,76 l/s.
- Pulverizador: é um dispositivo que transforma o jato de água em um feixe de pequenos jatos semelhante a um chuveirinho. Os pulverizadores reduzem a vazão para valores entre 0,06 l/s a 0,12 l/s, podendo chegar até a 0,03 l/s.
- Prolongador: prolongamentos, desde que bem projetados, também podem representar economia de água, aproximando e direcionando melhor o jato ao objeto a ser lavado.
- Válvula para mictórios: reduz aproximadamente 60% o consumo comparado com descarga contínuas de 0,05 l/s.
- Bacia com caixa de volume reduzido: redução para 6 litros ou acionamento seletivo que permitem a regulagem de 3 ou 6 litros por acionamento.
- Gatilhos de pontas para mangueiras: a adoção de bicos tipo gatilho nas pontas de mangueiras elimina os períodos de ociosidade no uso. Por exemplo: a limpeza de fôrmas por um período de 30 minutos, com uma torneira medianamente aberta, pode consumir algo em torno de 216 litros de água e até 560 litros se estiver totalmente aberta.
- Emprego de sacos de tecidos ou bidim no processo da cura do concreto: sendo o processo de cura do concreto uma atividade que gera elevado consumo de água, no caso estudado constatou-se o uso de 160 a 200 litros de água por m³ de concreto, o emprego de sacos de tecidos ou de qualquer outro material que retenha certo volume de água, pode proporcionar economia de consumo devido à menor necessidade de ciclos de molhagem.

3 Discussão dos resultados

Baseado nas visitas realizadas, percebe-se claramente que a ação de medidas educativas, como colocação de cartazes e realização de palestras para os funcionários é importante, mas que, sozinha, não conseguirá atuar de forma marcante para reduzir consideravelmente o consumo de água pelos funcionários. Isso é evidente por que não, mesmo com os cartazes e treinamento, os índices de consumo mostram que a média de consumo diário de cada

funcionário ainda é superior ao que a OMS recomenda como mínimo aceitável.

Pelo coeficiente de variação, vemos que o quantitativo de funcionários, para o Porto Ravena variou próximo da variação do volume de água consumido por funcionário por dia. Os trabalhadores dessa obra apresentam, pelo menos nesses meses de monitoramento, um padrão de consumo de água. Já para o João Heráclio. Essa comparação indica uma disparidade grande entre a quantidade de consumidores e o volume consumido. Isso evidencia que nessa obra, praticamente o mesmo número de funcionários apresentam um padrão de consumo aleatório. Mesmo assim, a média de consumo é menor no João Heráclio, que no Porto Ravena, muito em função da 3ª medição.

Tento em vista a necessidade de obter mais informações sobre essas medições setorizadas, não só nas áreas de vestiário, mas também no setor de cozinha, bebedouros, a instalação de mais hidrômetros em outras obras se faz necessário. Haverá um enorme ganho de material para análise e, com isso, a representatividade qualitativa da pesquisa aumentará.

4 Agradecimentos

Agradecemos a Escola Politécnica de Pernambuco, pelo financiamento do projeto, aliado a parceria com a Moura Dubeux Engenharia, que propiciou a instalação dos hidrômetros e consequente monitoramento e coleta de dados.

Referências

- [1] ANA, COMASP, FIESP, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E SINDUSCON SP. Manual Técnico de Uso e Conservação e Reuso da Água em Residenciais. São Paulo, Junho 2005.
- [2] CBCS. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Comitê Temático da Água. Aproveitamento de fontes alternativas de água em edifícios. Acesso em: 08 mai. 2013. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br>>
- [3] MINISTÉRIO DO TRABALHO. Norma Regulamentadora nº 18 - NR 18
- [4] Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Disponível em <<http://www.mte.gov.br/legislacao/>>. Acesso em 08 de Abril de 2013.
- [5] NETO, A. F.; Água como Material de Construção. Cuiabá. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=43&Cod=625>>. Acesso em 08 de Abril de 2013.
- [6] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. A ONU e a água. 2012. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-em-acao/a-onu-e-a-agua/>>. Acesso em: 04/05/2013.
- [7] PESSARELLO, R.G.; Estudo Exploratório quanto ao Consumo de água na produção de obras de edifícios: Avaliação e Fatores influenciadores. São Paulo, Fev. 2008.
- [8] REDAÇÃO ACEWEB. Os verdadeiros impactos da construção civil. 2010. Disponível em: <<http://www.aecweb.com.br/aec-news/materia/2206/os-impactos-da-construcao-civil.html>>. Acesso em: 04/05/2013.
- [9] REVISTA SUSTENTABILIDADE. Consumo de água nos canteiros, 24 mar. 2008. Disponível em: <<http://revistasustentabilidade.com.br/consumo-de-agua-nos-canteiros/>>. Acesso em: 18 mar. 2013.

Análise estatística dos parâmetros geotécnicos dos resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) produzidos na região metropolitana do Recife-PE

Filho, J. A. C. S.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
joao_albertof@hotmail.com

Santos, E. C. G.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo *Para viabilizar a utilização dos resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em obras geotécnicas é necessário realizar ensaios de caracterização a fim de se conhecer as características deste resíduo. Pensando nisto, foram realizadas coletas de amostras de RCD-R Misto em usina de reciclagem em intervalos de 15 dias. Os resultados revelaram que o RCD-R possui excelentes parâmetros geotécnicos e baixa variabilidade destes, o que possibilita a sua aplicação na Engenharia Geotécnica.*

Abstract *In order to enable the use of recycled construction and demolition waste (RCDW) in geotechnical works it is necessary to carry out the characterization tests to better understand the characteristics of this residue. Bearing in mind this proposal, samples of Mixed RCDW were collected at a recycling plant in intervals of 15 days. The results revealed that RCDW has excellent geotechnical properties with low coefficient of variability which makes possible its use in Geotechnical Engineering.*

1 Introdução

Neste artigo estão presentes os resultados dos ensaios de caracterização de sete amostras coletadas em usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) do tipo Misto.

2 Materiais e métodos

Este artigo contempla a parte experimental da pesquisa. Nesta parte realizou-se os ensaios de caracterização para obter os parâmetros geotécnicos do RCD-R coletado. Foram realizados os seguintes ensaios: análise granulométrica, composição gravimétrica, ensaio de compactação com energia Proctor Normal, massa específica dos grãos, limite de liquidez e plasticidade.

3 Resultados

3.1 Estilos

Na Figura 1 é possível notar que as curvas apresentam baixa variabilidade e que se trata de um material arenoso.

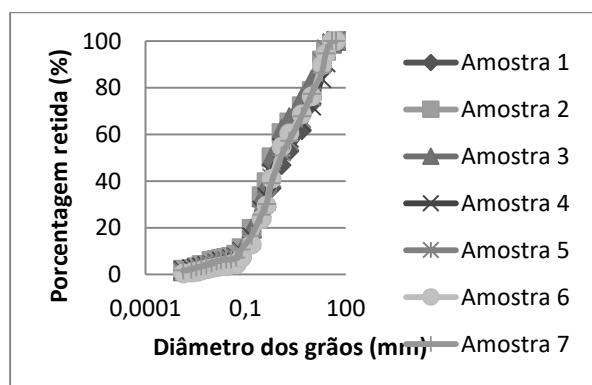


Fig 1. Curvas da análise granulométrica

3.2 Composição gravimétrica

De modo a melhor entender o comportamento mecânico dos RCD-R foi realizada a sua análise da composição gravimétrica, obtendo-se a participação de cada material presente na composição do RCD-R (Fig. 2 a 8).

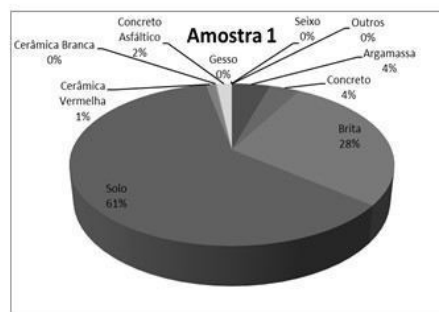


Fig 2. Composição Amostra 1

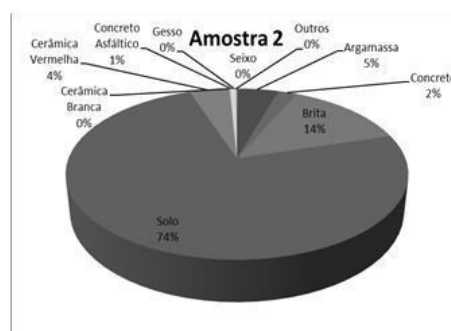


Fig 3. Composição Amostra 2

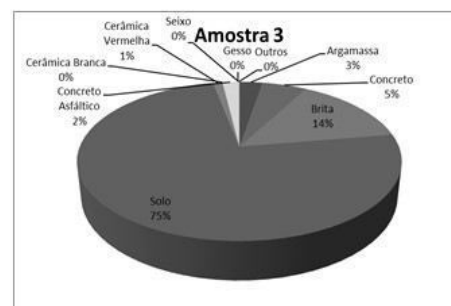


Fig 4. Composição Amostra 3

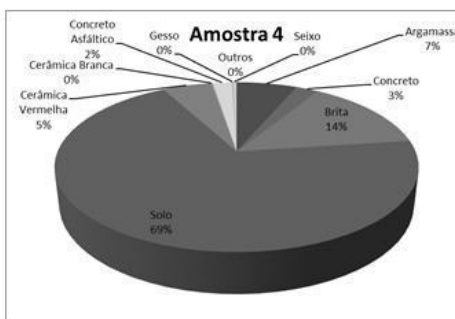


Fig 5. Composição Amostra 4

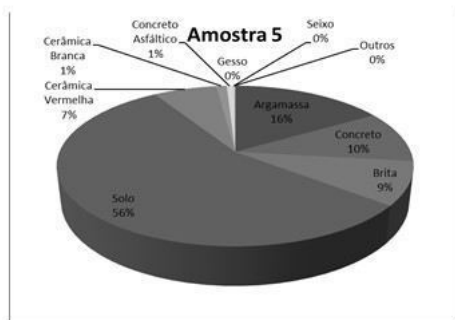


Fig 6. Composição Amostra 5

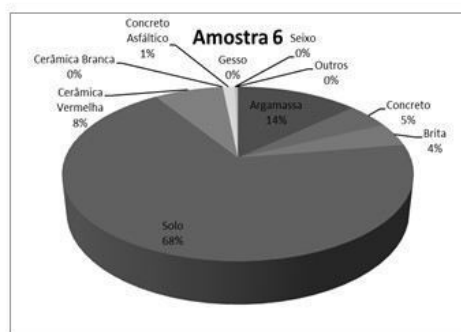


Fig 7. Composição Amostra 6

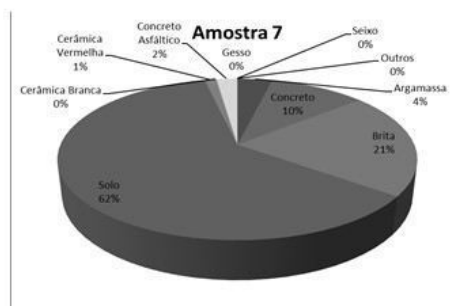


Fig 8. Composição Amostra 7

Os resultados dos ensaios de composição gravimétrica revelaram que o solo é o material predominante na massa do RCD-R ensaiado, apresentando valores percentuais superiores a 50%. Tal resultado demonstra que o material ensaiado possui características que o tornam ideal para obras geotécnicas.

3.3 Ensaio de compactação

Tendo em vista o propósito de empregar os RCD-R em obras geotécnicas, foram realizados ensaios de compactação Proctor Normal, os quais forneceram os valores de massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima de cada uma das amostras (Fig. 9).

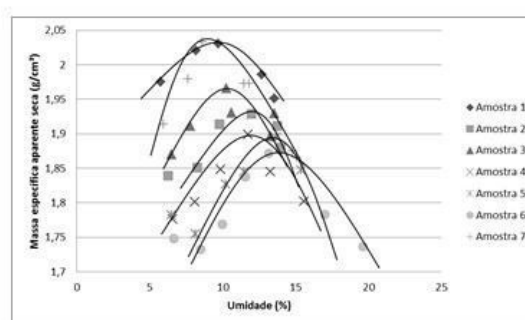


Fig 9. Curvas das compactações

As curvas de compactação permitem obter um valor médio de aproximadamente 1,5 g/cm³ para massa específica aparente seca máxima e de 11% para umidade ótima.

3.4 Ensaio de compactação

O resultado do ensaio de massa específica dos grãos revelou que as amostras de RCD-R ensaiadas apresentaram um valor médio de 2,7 g/cm³, com um coeficiente de variação igual a 1,4%.

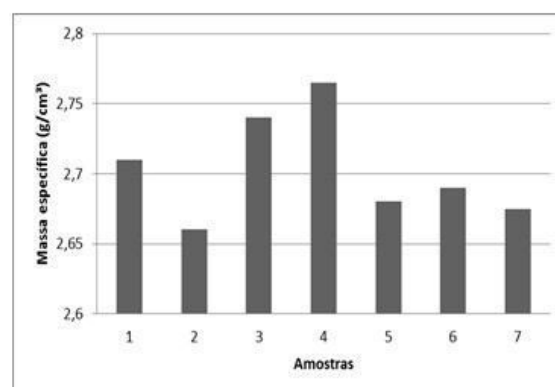


Fig 10. Massas específicas

3.5 Limites de consistência

A realização dos ensaios de limite de consistência (LL e LP) revelaram que todas as amostras ensaiadas apresentaram um comportamento não plástico, confirmando os resultados da análise granulométrica, que revelaram que o RCD-R ensaiado trata-se de um material que pode ser classificado como arenoso. De acordo com Santos (2007), esse é um ponto positivo para os RCD-R ao se levar em consideração as recomendações das normas BS 8006 e FHWA 2001, as quais sugerem o uso de materiais que não apresentem parcela de resistência coesiva na construção de estruturas de solo reforçado.

4 Materiais e métodos

De posse dos resultados, observou-se que o RCD-R ensaiado é composto predominantemente por solo – percentuais de solo acima de 50% em todas as amostras ensaiadas. A análise granulométrica demonstrou que o RCD-R ensaiado pode ser classificado como uma areia pedregulhosa. Tal resultado foi confirmado por meio dos ensaios de limite de consistência, os quais revelaram o comportamento não plástico do material ensaiado. As análises das curvas de compactação Proctor Normal e dos ensaios de massa específica dos grãos revelaram que o RCD-R ensaiado possui excelentes parâmetros geotécnicos, com baixos coeficientes de variação. Conclui-se que os excelentes resultados obtidos na caracterização geotécnica do RCD-R ensaiado e baixa variabilidade dos seus parâmetros tornam possível a aplicação desse material em diversas obras geotécnicas.

Referências

- [1] BRITISH STANDARD (1995). BS 8006: Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills.
- [2] E.C.G. SANTOS, “Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado”, São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007, 173p.
- [3] ELIAS, V.; CHRISTOPHER, B.R.; BERG, R.R. (2001). Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design & Construction Guidelines. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No.FHWA-NHI-00-043, 394p.

Esteganografia LSB em Imagens Digitais Baseada em Sequências VDH

França, A. E. A. G.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
aldenis.engenharia@bol.com.br

Madeiro, F.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
madeio@poli.br

Resumo *Em se tratando de segurança da informação, existem problemas relevantes e desafios no âmbito de processamento digital de imagens, como por exemplo, esteganografia, marca d'água digital e cifragem de imagens. Este artigo aborda a esteganografia LSB (Least Significant Bit), a qual consiste em modificar o bit menos significativo de pixels da imagem, com a finalidade de ocultar uma mensagem. Precisamente, é apresentado um método de esteganografia baseado em sequências de baixa discrepância, que usa uma chave criptográfica que orienta a distribuição dos bits a serem ocultos na imagem. São apresentados resultados preliminares que revelam a robustez do método a ataques visuais.*

Abstract *Regarding information security, many problems arise in the scenario of digital image processing, such as steganography, watermarking and image encryption. This paper is concerned with LSB (Least Significant Bit) steganography, which consists on the modification of the LSB of the pixels, aiming at hiding messages. Precisely, a method for steganography is presented, based on low discrepancy sequences. The method uses a cryptographic key which orients the distribution of bits along the pixels. Preliminary results reveal the robustness of the method against visual attacks.*

1 Introdução

Esteganografia é a ciência e a arte de ocultar informações [6]. Denomina-se objeto de cobertura (*cover-object*) o local onde a mensagem é escondida. No contexto de esteganografia em imagens digitais, a imagem utilizada para esconder os bits de informação denomina-se imagem de cobertura (*cover-image*). Uma vez que o objeto de cobertura oculte a informação, ele passa a ser denominado estego-objeto (*stego-object*). Para o caso de imagens digitais, a imagem com a informação nela escondida denomina-se estego-imagem (*stego-image*) [2].

Dentre as técnicas utilizadas para o desenvolvimento de sistemas de Esteganografia em imagens digitais, podem ser citadas: inserção no *bit* menos significativo (*LSB*): utiliza o *bit* menos significativo dos pixels da imagem para ocultar a informação; técnicas de filtragem e mascaramento; e técnicas baseadas em transformadas, a exemplo da DCT (*discrete cosine transform*) e da DWT (*discrete wavelet transform*) [3, 7].

Os métodos de esteganografia devem ser projetados visando ocultar o máximo de informação possível, com robustez às técnicas de Esteganálise, que são métodos desenvolvidos com o objetivo de identificar a presença de dados ocultos [4]. Neste cenário, podem ser citados ataques clássicos, como, por exemplo, o ataque visual, ataques estruturais, o ataque de histograma e RS-Esteganálise [1, 5, 6, 11, 12, 14, 15].

Este trabalho apresenta uma técnica de esteganografia *LSB* baseada em sequências de baixa discrepância. A motivação para o método é espalhar os bits de informação a ocultar, de tal maneira a se assegurar robustez a ataques visuais, a um custo computacional baixo.

2 Esteganografia LSB versus Esteganálise

A Esteganografia *LSB*, para imagens monocromáticas, tem o objetivo de modificar o *bit* menos significativo de cada *pixel* da imagem, para ocultar a mensagem desejada, ou seja, para esconder o feixe de bits de informação. A modificação do *bit* menos significativo corresponde a uma alteração de uma unidade no valor de nível de cinza correspondente. O alvo é impedir a percepção visual desta variação.

Um aspecto a considerar em esteganografia é a carga ocultável, a qual se refere à quantidade de bits que podem ser armazenados no objeto de cobertura. Como exemplo, considere uma imagem de cobertura monocromática, 256 x 256 *pixels*, 8,0 *bpp*. Com o uso de esteganografia *LSB*,

em tal imagem, a carga máxima ocultável é 256-256 *bits*, ou seja, 65.536 *bits* ocultáveis. Isto corresponde a 8.192 *bytes*, suficientes para ocultar, por exemplo, 8.192 caracteres ASCII.

As técnicas de esteganografia devem buscar ocultar o máximo de informação com robustez aos métodos de esteganálise, cujo alvo é descobrir a informação escondida, ou ao menos identificar se existe informação oculta. Segundo Wayner [13], a identificação da existência de uma mensagem escondida é, em muitos casos, suficiente para um agressor, que pode simplesmente “destruir” a mensagem.

Técnicas de esteganálise são conhecidas como ataques, os quais dependem da identificação de algumas características de um objeto de cobertura (como imagens, sons, vídeos) que foram alteradas no processo de ocultação [9]. Dentre os métodos de ataques esteganalíticos, podem ser citados os ataques visuais ou aurais, os ataques estruturais e os ataques estatísticos.

O ataque visual consiste em “revelar” partes da imagem como um meio de facilitar aos olhos humanos a busca por anomalias nela presentes [9]. Uma alternativa usual é a exibição do plano *LSB*, utilizando tons diferentes para representar a magnitude do *bit*, permitindo, deste modo, que um observador identifique “irregularidades” (“rastros” de informação oculta) por inspeção visual [14].

O ataque estrutural tem o propósito de identificar mudanças na estrutura dos arquivos suspeitos, modificados por algum processo esteganográfico.

O ataque estatístico leva em conta o fato de que os padrões dos *pixels* e seus *bits* menos significativos frequentemente revelam a existência de uma mensagem secreta nos perfis estatísticos [8,17]. Dentre as técnicas de Esteganálise, que se baseiam em ataques estatísticos existentes, podem ser citadas: Teste do χ^2 (Qui-Quadrado – *Chi-Square Test*) [10] e RS-Esteganálise. Resultados de χ^2 próximos a zero indicam que anomalias não foram identificadas; valores muito altos podem indicar o uso da Esteganografia [6].

3 Método Proposto

O método consiste em utilizar uma chave criptográfica com 10 *bits*, para ocultar informação em uma imagem 256 x 256. Cumpre mencionar que o método é facilmente adaptável a imagens com outras dimensões. Segue a descrição dos 10 bits da chave:

Os cinco primeiros *bits* informam qual, dentre os primeiros 32 números primos, será usado para gerar uma sequência de sequência de baixa discrepância associada às

linhas da imagem, precisamente, uma sequência de Van der Corput-Halton [16, 17, 18]. A sequência de baixa discrepância permite a obtenção de uma cobertura de pontos uniformemente distribuída, independente do número de pontos gerados por ela. A Fig. 1 apresenta a cobertura de uma imagem com uso de sequência de baixa discrepância. A base, neste caso, pode ser considerada como a semente (*seed*) da sequência.

Os últimos cinco bits informam qual, dentre os primeiros 32 números primos, será usado para gerar uma sequência de sequência de baixa associada às colunas da imagem.

4 Resultados e discussões

As simulações computacionais foram realizadas em ambiente MATLAB®.

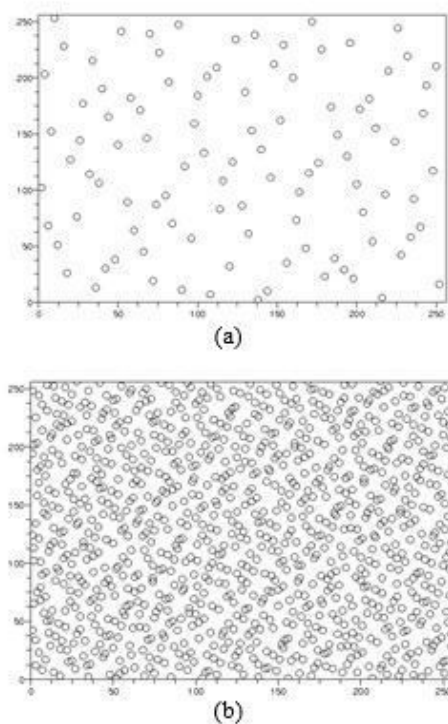


Fig. 1. Cobertura proporcionada pela sequência de baixa discrepância: (a) VDC com 100 pontos e (b) VDC com 1000 pontos.

O objetivo foi converter a imagem digital em uma *string* em código ASCII e depois convertê-la em sequência binária, para substituir os *bits* menos significativos de cada *pixel* de acordo com os *bits* da mensagem a ocultar, gerando a estego-imagem. Este método foi aplicado em pelo menos dez imagens, embutindo textos com variados números de caracteres.

As simulações foram realizadas em imagens da base de dados (*Database*) da *University of Southern California - USC*, no formato PGM P2, monocromáticas, com 256 níveis de cinza, de 256 x 256 *pixels*, onde cada *pixel* da imagem é representado por um *byte*.

A Fig. 2 apresenta uma imagem de cobertura. A Fig. 3 é a estego-imagem obtida com esteganografia *LSB*, em que os bits são inseridos a cada linha da imagem. A imagem da Fig. 3 é resultado da ocultação de um texto com 3.000 caracteres ASCII.



Fig. 2. Imagem de Cobertura - Barbara.



Fig. 3. Estenoimagem – Barbara2.

Comparando as Figs. 2 e 3, nota-se que, à visão humana, não se consegue detectar diferenças entre elas. Isto se deve ao fato de as informações estarem escondidas nos *bits* menos significativos da imagem.

A diferença entre as Fig. 2 e Fig. 3 será detectável ao se aplicar, a cada uma, o ataque visual, onde será exibido visualmente o plano *LSB*, utilizando tons distintos para representar as magnitudes do *bit* menos significativo, identificando assim as “irregularidades”. As Figs. 4 e 5 apresentam, respectivamente, o resultado do ataque visual às Figs. 2 e 3. Observe que o ataque revela um “rastros” de informação oculta da estego-imagem.

Foram realizados ataques visuais a diferentes imagens de cobertura, com diferentes cargas de ocultação, por meio do método proposto. Observou-se que, para a grande mai-

oria, o método de esteganografia *LSB* baseado em sequências VDH é robusto ao ataque visual, não deixando “rastros” de informação escondida.

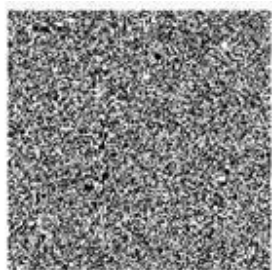


Fig. 4. Ataque Visual em Barbara.

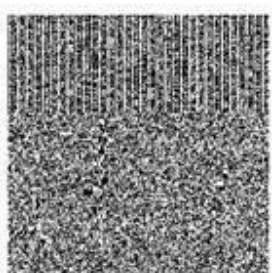


Fig. 5. Ataque Visual em Barbara2.

5 Conclusão

Este artigo apresentou um método de esteganografia *LSB* baseado em sequências de baixa discrepância, precisamente sequências de Van der Corput-Halton (VDH). O alvo da utilização das sequências VDH é espalhar na estego-imagem os bits de informação a serem ocultos, visando, de imediato, robustez ao ataque visual.

Resultados obtidos com simulações envolvendo ocultação de texto em imagens monocromáticas 256 x 256 pixels, 8,0 bps, revelam que a robustez é observada para diversas cargas de ocultação e uma ampla variedade de imagens.

Trabalhos futuros serão desenvolvidos no sentido de melhorar o método apresentado e avaliar a robustez a outros ataques.

Referências

[1] A. Cheddad, J. Condell, K. Curran, e P. M. Kevit, “Digital image steganography: Survey and analysis of current methods”, *Signal Process. Elsevier*, (2009), doi: 10.1016/j.sigpro.2009.08.010.

[2] J. Fridrich, “Steganography in Digital Media: Principles, Algorithms and Applications”, Cambridge University Press, Cambridge, (2009).

[3] F. L. T. Jascone, “Protótipo de Software para Ocultar Texto Criptografado em Imagens Digitais”, Trabalho de Conclusão (Graduação). Blumenau: Universidade Regional de Blumenau - Centro de Ciências Exatas e Naturais, (2003).

[4] J. R. C. Tavares, J. B. Lima, e F. Madeiro, “LSB Word-Hunt: Um Método de Esteganografia Para Imagens Digitais Utilizando Chave Simétrica”, Congresso de Matemática Aplicada e Computacional da Região Nordeste, (2012).

[5] J. M. Furtado Júnior, E. L. Tavares, e M. N. F. Firme, “Esteganografia Digital”, *Revista Eduf@tima*, vol. 3, nº. 1, (2012).

[6] J. E. P. Julio, W. G. Brazil, e C. V. N. Albuquerque, “Esteganografia e Suas Aplicações”, In: L. Pirmez, F. Delicato, (Org.), *Livro de minicursos do SBSEG*, (2007) pp. 54-102.

[7] A. D. Ker, “Steganalysis of LSB Matching in Grayscale Images”, *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 12, nº. 6, June 2005, 441-444.

[8] F. A. Petitcolas, R. J. Anderson, e M. G. Kuhn, “Information hiding - a survey”, *Proceedings of IEEE. Special issue on Protection on multimedia content*, (1999).

[9] A. R. Rocha, “Camaleão: um Software para Segurança Digital utilizando Esteganografia”, Trabalho de Conclusão (Graduação). Lavras: Universidade Federal de Lavras - UFLA, (2003).

[10] A. R. Rocha, Randomização Progressiva para Esteganálise. Master’s thesis, Instituto de Computação - Unicamp, Campinas, SP, Brasil, (2006).

[11] T. Sharp, “An Implementation of Key-Based Digital Signal Steganography”, *Proc. Information Hiding Workshop*, 5020 (2003), pp. 131-142.

[12] A. R. Rocha, e S. Goldenstein, “Steganography and Steganalysis in Digital Multimedia: Hype or Hallelujah?”, *Revista de Informática Teórica e Aplicada - RITA*, vol. XV, nº. 1, (2008).

[13] P. Wayner, “Disappearing Cryptography”, second ed., *Morgan Kaufmann Publishers*, 2002.

- [14] A. Westfeld, e A. Pfitzmann, "Attacks on Steganographics Systems", *Springer-Verlag Lecture Notes in Computer Science*, (2000) pp. 1-16.
- [15] L. Yu, Y. Zhao, R. Ni, e T. Li, "Improved Adaptive LSB Steganography Based on Chaos and Genetic Algorithm", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2010, 876946.
- [16] E. A. Lima, P. H. Espírito Santo, F. Madeiro, "Sequências de Baixa Discrepância Aplicadas à Inicialização do Algoritmo Linde-Buzo-Gray", *TEMA - Tendências em Matemática Aplicada e Computacional*, vol. 11, (2010) pp. 217-229.
- [17] E. A. Lima, F. Madeiro, "Sequências de Baixa Discrepância Aplicadas à Avaliação de Qualidade de Imagens Comprimidas", *TEMA - Tendências em Matemática Aplicada e Computacional*, vol. 10, (2009) pp. 155-165.
- [18] J. H. Halton, "On the efficiency of certain quasi-random sequences of points in evaluating multi-dimensional integrals", *Numer. Math.*, (1960) pp. 84-90.

Modelagem Matemática com o Software Mathematica na Simulação Computacional de um Secador de Leito Fluidizado em Regime Estacionário

Lourenço, J. R.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
jobson.lourenço@gmail.com

Galdino, S. M. L.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Silva, J. D.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

A modelagem matemática de sistemas físicos, bem como o tratamento dado às equações ou sistemas de equações diferenciais aplicadas ao modelo, podem atuar de forma significativa no resultado encontrado. O modelo gerado deve receber um tratamento numérico computacional, processo que pode tornar-se trabalhoso, na medida que o modelo seja mais complexo, devido principalmente às etapas pré-computacionais de discretização e padronização do sistema ao método a ser empregado. Nesse aspecto, pretende-se neste trabalho mostrar a aplicação do software Mathematica como um meio de dinamizar a modelagem e simulação de sistemas físicos, uma vez que este fornece alternativas automáticas de soluções de equações diferenciais de vários tipos, o que permite ao modelador focar no sistema modelado e não em técnicas e métodos numéricos.

Abstract

Mathematical modeling of physical systems, as well as treatment of equations or set of differential equations applied to the model, can act significantly in the results found. The generated model should be treated numeric computational method, a process which can become laborious, as the model becomes more complex, mainly due pre-compute steps. In this way, this work aims to show application of software Mathematica as a mean to streamline the modeling and simulation of physical systems, since this eliminates such steps.

1 Introdução

Na formulação de muitos modelos matemáticos, sistemas de equações diferenciais são utilizados para representar o fenômeno físico. Contudo, o tratamento e solução de tais sistemas nem sempre é simples, sendo requeridas ferramentas computacionais eficazes para solução do modelo. Uma dessas ferramentas é o software Mathematica.

O Mathematica é um poderoso ambiente de programação matemática, dispondo de ferramentas numéricas, simbólicas e gráficas, de modo a auxiliar em cada um dos aspectos da resolução de problemas matemáticos. Este software tem sido amplamente empregado na investigação e análise de problemas em engenharia, matemática e física, bem como em economia e outras ciências, e também pode ser usado como uma linguagem de programação de alto nível. Além disso, o Mathematica possui uma interface simples e intuitiva, facilitando o trabalho do usuário [1].

Neste aspecto, o Mathematica pode ser utilizado na solução de problemas de modelagem através da função intrínseca *NDSolve*, que é, de forma geral, um solucionador numérico de equações diferenciais. Ele pode lidar com uma ampla gama de equações diferenciais ordinárias (EDOs), bem como equações diferenciais parciais (EDPs). *NDSolve* também pode resolver algumas equações algébrico-diferenciais (EADs), que normalmente são uma mistura de equações diferenciais e algébricas [2].

Como forma de exemplificar essa ferramenta, neste trabalho pretende-se mostrar o uso do *NDSolve* para a solução de um problema de modelagem e simulação matemática de um secador de leito fluidizado bifásico em regime estacionário [3]. O artigo divide-se da seguinte forma: a Seção 2 descreve em alguns detalhes o *NDSolve*, a Seção 3 descreve o modelo físico do secador de Leito Fluidizado, a Seção 4 apresenta resultados e discussões e a Seção 5 as conclusões.

2 A função NDSolve

Nesta seção a função intrínseca do Mathematica, será descrita em alguns detalhes [3]. A função *NDSolve* encontra a solução numérica de equações diferenciais, bem como sistemas de equações diferenciais acopladas, conseguindo resolver vários tipos de EDOs e EDPs, além de manusear algumas equações algébrico-diferenciais (EADs) que consistem de um problema que envolve equações diferenciais e algébricas.

Sintaxe:

- *NDSolve* [{eqn1,eqn2,...},y,{x,x_{min},x_{max}}}, encontra uma solução numérica para a função y, com x no intervalo [x_{min},x_{max}].
- *NDSolve* [{eqn1,eqn2,...},y1,y2,...,yn,x,x_{min},x_{max}}}, encontra uma solução numérica para as funções yi, com x no intervalo [x_{min},x_{max}].

NDSolve apresenta a solução para as funções yi como funções interpoladas (*InterpolatingFunction*), as quais fornecem aproximações para yi ao longo do intervalo de valores x_{min} até x_{max} para a variável independente x. Para uma visualização da resposta pode-se traçar o gráfico da função obtida no respectivo intervalo por meio do seguinte comando:

*Plot[Evaluate[yi[x]/.sol],{x,x_{min},x_{max}},
PlotRange→All]*

Nota-se ainda que quando se usa o *NDSolve* as condições iniciais e/ou de contorno dadas devem ser suficientes para determinar a solução para yi completamente, uma vez que este comando encontrará uma solução numérica, - diferentemente do comando *DSolve* que encontra, se possível uma solução algébrica, podendo esta conter graus de liberdade adicionais. Em um caso típico, se existir uma equação diferencial com a n-ésima derivada, então é necessário fornecer ao software condições iniciais para as derivadas até grau (n-1), ou condições de contorno em n pontos.

Na maioria dos casos, todas as condições iniciais fornecidas envolvem algum valor de x, digamos x₀. Como resultado, deve-se fornecer explicitamente os extremos do intervalo de x, x_{min} e x_{max}. Caso o intervalo seja especificado como {x,x₁}, o Mathematica irá automaticamente gerar uma solução sobre o intervalo [x₀,x₁].

O *NDSolve* permite ainda outras opções, mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Opções para a função *NDSolve*.

Nome	Valor padrão	Descrição
MaxSteps	Automatic	Nº máximo de passos para x
MaxStepFraction	1/10	Fração máxima do

		intervalo coberto em cada passo
StartingStepsSize	Automatic	Tamanho inicial do passo de x
MaxStepsSize	Automatic	Tamanho máximo do passo usado para x
NormFunction	Automatic	norma usada para a estimativa do erro
AccuracyGoal	Automatic	Dígitos de exatidão absoluta solicitados
PrecisionGoal	Automatic	Dígitos de precisão solicitados
DependentVariables		Lista de todas as variáveis dependentes
EvaluationMonitor	None	Expressão que avalia sempre que a função é avaliada
InterpolationOrder	Automatic	O grau de interpolação da resposta
StepMonitor	None	Expressão que avalia quando um passo é feito
WorkingPrecision	MachinePrecision	Precisão usada nas operações internas
Method	Automatic	Método usado

Nota-se que:

- NDSolve adapta o tamanho do passo para que o erro estimado na solução fique dentro das tolerâncias especificadas por PrecisionGoal e AccuracyGoal.
- A opção NormFunction $\rightarrow f$ especifica que o erro estimado para cada um dos y_i deve ser uma ser uma combinação, usando $f[\{e_1, e_2, \dots\}]$.
- AccuracyGoal efetivamente especifica o valor do erro absoluto local permitido em cada passo na busca de uma solução, enquanto PrecisionGoal especifica o erro relativo local.
- Se as soluções necessitam de precisão quando seus valores estão perto de zero, AccuracyGoal deve ser ajustado maior, ou até Infinity.

- A configuração padrão de Automatic para AccuracyGoal e PrecisionGoal é equivalente a WorkingPrecision / 2.
- O ajuste para MaxStepFraction especifica o passo máximo a ser feito pelo NDSolve como uma fração do intervalo de valores da variável independente.
- Com *DependentVariables* $\rightarrow$ Automatic, NDSolve tenta determinar as variáveis dependentes através da análise das equações dadas.
- As definições possíveis explicitadas para a opção *Method* incluem, mas não limitam-se a: *Adams*, *BDF*, *ExplicitRungeKutta*, *ImplicitRungeKutta*, *SymplecticPartitionedRungeKutta*.
- A configuração *InterpolationOrder* $\rightarrow$ All, especifica que NDSolve deve gerar soluções que utilizam interpolação da mesma ordem que o método subjacente utilizado.

Por fim, ressalta-se que para fazer uso de todas as opções implementadas no NDSolve, anteriormente citadas deve-se inicialmente preparar o ambiente de programação do Mathematica, por meio dos seguintes comandos:

```
Needs["DifferentialEquations`NDSolveProblems`"];
```

```
Needs["DifferentialEquations`NDSolveUtilities`"];
```

3 Modelo Matemático do Secador de Leito Fluidizado

Nessa seção será descrito o modelo físico do secador de leito fluidizado que foi utilizado como estudo de caso para a utilização do Mathematica.

O processo de secagem de combustíveis sólidos utilizando secadores de leito fluidizado é amplamente utilizado na indústria devido a sua eficiência graças ao grande contato entre sólido e gás, resultando em alta transferência de calor para secagem. Do ponto de vista termodinâmico, o processo de secagem de combustíveis utilizando-se um secador de leito fluidizado envolve os fenômenos de acumulação, dispersão e transferência de calor, podendo ser modelado a partir das equações de transferência de momento, energia e massa que resultam em um sistema de equações diferenciais parciais de segunda ordem [4].

Um secador de leito fluidizado pode ser modelado a partir do balanço de energia e de massa [3]. As equações

de balanço de energia e massa para as fases gasosa e sólida foram simplificadas com as seguintes hipóteses simplificadoras para obter um modelo simplificado para o secador de leito fluidizado em regime estacionário:

- i. modelo unidimensional;
- ii. sistema de secagem não isotérmico,
- iii. as temperaturas das fases gasosa e sólida são modeladas através de modelos de dispersão térmica e
- iv. os balanços de massa para unidade das fases gasosa e sólida são modelados com os efeitos de dispersão axial
- v. os termos de acumulação para os balanços de energia e massa são desprezados.

Baseado nessas hipóteses, o modelo matemático simplificado para o secador de leito fluidizado em regime estacionário é formado pelas equações simplificadas de transporte energia e massa que descrevem o comportamento das temperaturas e umidades no secador. Assim, as equações simplificadas que formam o modelo são expressas por:

Balanço de energia para a fase gasosa:

$$\varepsilon_{fg} K_{fg,eff} \frac{d^2 T_{fg}}{dz^2} + \frac{\varepsilon_{fg} C_{P,fg} \rho_{fg} Q_{fg}}{A_s} \frac{dT_{fg}}{dz} - (ha)_{fgs} (T_{fg} - T_s) - \frac{C_{va} (ha)_{fgs}}{Q_{fg}} (Y_s - Y_{fg}) = 0$$

Condições de contorno:

$$K_{fg,eff} \left. \frac{dT_{fg}}{dz} \right|_{z=0^+} = \frac{C_{P,fg} \rho_{fg} Q_{fg}}{A_s} (T_{fg}|_{z=0^+} - T_{fg,0})$$

$$\left. \frac{dT_{fg}}{dz} \right|_{z=L} = 0$$

Balanço de energia para a fase sólida:

$$\varepsilon_s K_{s,eff} \frac{d^2 T_s}{dz^2} - \frac{\varepsilon_s C_{P,s} G_{t,s}}{A_s} \frac{dT_s}{dz} + (ha)_{fgs} (T_s - T_{fg}) + \lambda \frac{C_{va} (ha)_{fgs}}{Q_g} (Y_s - Y_{fg}) = 0$$

Condições de contorno:

$$K_{s,eff} \left. \frac{dT_s}{dz} \right|_{z=0^+} = \frac{C_{P,s} G_{t,s}}{A_s \rho_s} (T_s|_{z=0^+} - T_{s,0})$$

$$\left. \frac{dT_s}{dz} \right|_{z=L} = 0$$

Balanço de massa da fração molar para a fase sólida:

$$\varepsilon_s D_s \frac{d^2 Y_s}{dz^2} - \frac{\varepsilon_s G_{t,s}}{A_s} \frac{dY_s}{dz} - (ka)_{fgs} (Y_s - Y_{fg}) = 0$$

Condições de contorno:

$$\left. \frac{dT_s}{dz} \right|_{z=0^+} = \frac{G_{t,s}}{A_s \varepsilon_s \rho_s D_s} (T_s|_{z=0^+} - T_{s,0})$$

$$\left. \frac{dT_s}{dz} \right|_{z=L} = 0$$

Quando as equações são adimensionalizadas elas podem ser expressas por:

Balanço de energia para a fase gasosa, adimensionalizada:

$$\frac{d^2 \theta_{fg}}{d\mu^2} - \alpha_1 \frac{d\theta_{fg}}{d\mu} - \alpha_2 (\theta_{fg} - \theta_s) - \alpha_3 (Y_s - Y_{fg}) = 0$$

Condições de contorno adimensionalizadas para a fase gasosa:

$$\left. \frac{d\theta_{fg}}{d\mu} \right|_{\mu=0^+} = -\alpha_4 (\theta_{fg}|_{\mu=0^+} - 1)$$

$$\left. \frac{d\theta_{fg}}{d\mu} \right|_{\mu=1} = 0$$

Balanço de massa para a fase sólida, adimensionalizada:

$$\frac{d^2 Y_s}{d\mu^2} - \beta_5 \frac{dY_s}{d\mu} - \beta_6 (Y_s - Y_{fg}) = 0$$

Condições de contorno adimensionalizadas para a fase sólida:

$$\left. \frac{d\theta_s}{d\mu} \right|_{\mu=0^+} = \beta_4(\theta_s|_{\mu=0^+} - 1)$$

$$\left. \frac{d\theta_s}{d\mu} \right|_{\mu=1} = 0$$

Balanco de energia para a fase sólida, adimensionalizada:

$$\frac{d^2\theta_s}{d\mu^2} - \beta_1 \frac{d\theta_s}{d\mu} - \beta_2(\theta_s - \theta_{fg}) - \beta_3(Y_s - Y_{fg}) = 0$$

Condições de contorno adimensionalizadas para a fase sólida:

$$\left. \frac{d\theta_s}{d\mu} \right|_{\mu=0^+} = \beta_4(\theta_s|_{\mu=0^+} - 1)$$

$$\left. \frac{d\theta_s}{d\mu} \right|_{\mu=1} = 0$$

Balanco de massa da fração molar para a fase sólida, adimensionalizada:

$$\frac{d^2Y_s}{d\mu^2} - \beta_5 \frac{dY_s}{d\mu} - \beta_6(Y_s - Y_{fg}) = 0$$

Condições de contorno adimensionalizadas da fração molar para a fase sólida:

$$\left. \frac{dY_s}{d\mu} \right|_{\mu=0^+} = \beta_7(Y_s - Y_{s,0})$$

$$\left. \frac{dY_s}{d\mu} \right|_{\mu=1} = 0$$

Onde os parâmetros adimensionais da fase gasosa α_i e os parâmetros adimensionais da fase sólida β_i são dados por:

Tabela 2. Coeficientes adimensionais utilizados.

Coeficientes da fase gasosa	Coeficientes da fase sólida
$\alpha_1 = \frac{C_{p,fg} \rho_{fg} Q_{fg} L}{A_s K_{fg,eff}}$	$\beta_1 = \frac{C_{p,s} G_{t,s} L}{A_s K_{fg,eff}}$
$\alpha_2 = \frac{(ha)_{fgs} L^2}{\varepsilon_{fg} K_{fg,eff}}$	$\beta_2 = \frac{(ha)_{fgs} L^2}{\varepsilon_s K_{s,eff}}$
$\alpha_3 = \frac{C_{va} (ha)_{fgs} L^2}{\varepsilon_{fg} K_{fg,eff} Q_{fg} T_{fg,0}}$	$\beta_3 = \frac{\lambda C_{va} (ha)_{fgs} L^2}{\varepsilon_s K_{s,eff} Q_{fg} T_{s,0}}$
$\alpha_4 = \frac{C_{p,fg} \rho_{fg} Q_{fg} L}{A_s K_{fg,eff}}$	$\beta_4 = \frac{C_{p,s} G_{t,s} L}{A_s K_{s,eff}}$
	$\beta_5 = \frac{G_{t,s} L}{A_s \rho_s D_s}$
	$\beta_6 = \frac{(ka)_{fgs} L^2}{\varepsilon_s D_s}$
	$\beta_7 = \frac{G_{t,s} L}{A_s \rho_s D_s}$

4 Resultados e Discussões

O modelo matemático anteriormente descrito foi solucionado utilizando a função *NDSolve* do Mathematica. Como resultado tem-se o comportamento da temperatura da fase gasosa e da temperatura e fração molar da fase sólida (T_{fg} , T_s e Y_s , respectivamente), em função da posição. Para o cálculo dos coeficientes adimensionais α_i e β_i foram utilizados os seguintes parâmetros [5]:

Tabela 3. Parâmetros utilizados na simulação do modelo.

$\varepsilon_{fg} = 0,460$	$\varepsilon_s = 0,780$
$K_{fg} = 1,94 \times 10^{-5}$	$K_{s,eff} = 1,94 \times 10^{-5}$
$C_{p,fg} = 624$	$C_{p,s} = 9,53 \times 10^{-2}$
$\rho_{fg} = 0,921$	$\rho_s = 289$
$Q_{fg} = 2,56$	$G_{t,s} = 4,62 \times 10^{-2}$
$Y_{fg,0} = 0,500$	$Y_{fg,0} = 0,500$
$T_{fg,0} = 220$	$T_{fg,0} = 90$
$(ka)_{fgs} = 3,23 \times 10^{-2}$	$A_s = 6,789$
$(ha)_{fgs} = 0,216$	$D_s = 0,326$
$q_t = 51,6$	$\lambda = 540$

Com o resultado obtido, por meio de funções interpoladas (*InterpolatingFunction*), foi traçado os gráficos apresentados nas Figuras 1, 2 e 3.

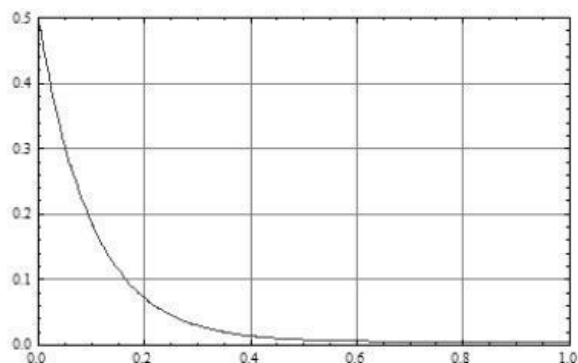


Fig 1. Perfil da Fração molar da fase sólida em função da posição obtido com o Software Mathematica

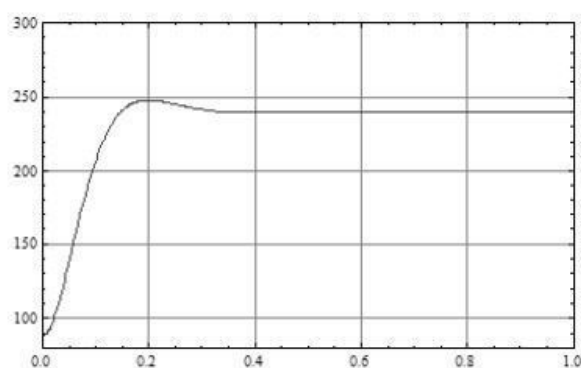


Fig 2. Perfil da temperatura da fase sólida em função da posição obtido com o Software Mathematica.

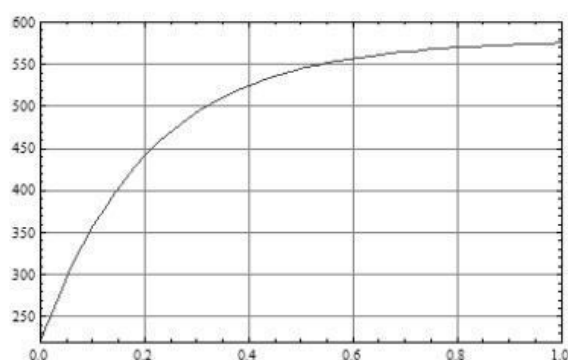


Fig 3. Perfil da temperatura da fase gasosa em função da posição obtido com o Software Mathematica

A Figura 1 mostra o perfil da fração molar da fase sólida em função da posição. Nota-se aqui que a fração molar da fase sólida torna-se praticamente constante a partir de $z \cong 0,5$. Tal fato ocorre devido ao equilíbrio do fluxo de calor no secador de leito fluidizado. Nota-se ainda que $Y_s \approx 0$, mostrando que a água foi eliminada do sólido [3].

A Figura 2 mostra o perfil de temperatura da fase sólida em função da posição. Nota-se por inspeção que a temperatura se mantém constante a partir de $z \cong 0,35 \text{ m}$, devido ao equilíbrio do fluxo de calor entre as fases sólida e gasosa dentro do secador [3].

A Figura 3 mostra o perfil de temperatura da fase gasosa em função da posição. Nota-se que a temperatura tende a estabilizar-se a partir de $z \cong 0,8 \text{ m}$. Esse comportamento, com um tempo de acomodação maior é verificado devido ao aumento da agitação molecular produzido pelo ar quente ao longo do secador [3].

5 Conclusão

Diante do cenário energético atual, a busca de meios renováveis e mais eficientes para geração de energia é de importância estratégica. Dessa forma buscar novos meios de estudar os processos de geração de energia, por meio de simulação computacional utilizando-se ferramentas avançadas, pode dinamizar o processo de análise, com ganho de produtividade nos resultados obtidos na modelagem.

Nesse aspecto, salienta-se como contribuição deste trabalho a aplicação do software o Mathematica como um meio de dinamizar a modelagem e simulação de sistemas térmicos uma vez que este mostra-se eficiente, robusto e versátil na resolução de vários tipos de modelos matemáticos, tornando sua utilização muito abrangente. Contudo, ressalta-se que embora o Mathematica tenha eliminado as etapas preliminares de discretização e padronização do modelo para a utilização do método, o conhecimento de qual método empregar, bem como dos ajustes que devem ser feitos para a obtenção da solução desejada tornam-se cruciais ao se utilizar este software.

Assim, a utilização do Mathematica para solução de problemas de modelagem e simulação representa um campo promissor a ser explorado em futuros trabalhos.

6 Notações

K_{fg} Condutividade térmica da fase gasosa, $\text{kcal/ms}^\circ\text{C}$

T_{fg} Temperatura da fase gasosa, $^\circ\text{C}$

z Variável espacial, m

$C_{p,fg}$ Capacidade calorífica da fase gasosa, $\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$

Q_{fg} Vazão da fase gasosa, m^3/s

A_s Área da seção transversal, m^2

(ha)fgs Coeficiente de transferência de calor gás-sólido, kcal/m³s°C

T_s Temperatura na fase sólida, °C

q_t Fluxo de calor, kcal/s

Y_s Fração molar da fase sólida, mol/mol

K_{s,eff} Condutividade térmica da fase sólida, kcal/ms°C

C_{p,s} Capacidade calorífica da fase sólida, kcal/kg°C

G_{t,s} Vazão de sólido, kg/s

(ka)fgs Coeficiente de transferência de massa gás-sólido, kg/m³s

D_s Difusão no sólido, m²/s

7 Letras Gregas

ρ_{fg} densidade da fase gasosa, kg/m³

ρ_s densidade da fase sólida, kg/m³

ε_{fg} fração molar da fase gasosa, mol/mol

ε_s fração molar da fase sólida, mol/mol

λ calor latente de vaporização, kcal/kg

Referências

- [1] Kythe, P. K. Puri, P.; Schaferkotter, M. R., *Partial differential equations and Mathematica*, CRC Press, 1997.
- [2] Wolfran S., *The Mathematica Book, 5 ed.*, Wolfran Media, 2003.
- [3] Silva, J.D.; Lucena, S. "Analysis of the Deterministic Model of a Gas-Solid Fluidized-Bed Gasi-fier". *Journal of Chemical Engineering*, 2009.
- [4] Silva Teles, A.; Massarani, G., "Condução de Calor em Meios Porosos: Modelo de Duas Fases", *Anais do XVIII ENEMP*, v.1, pp.175, 1990.
- [5] Silva, J.D. "Avaliação da Transferência de Energia e Massa de um Gaseificador de Leito Fluidizado para Geração de Potência", *IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Conem 2006*, Recife.

Redes Neurais Autoassociativas de Arquitetura Profundo para Reconhecimento de Expressões Faciais

Alcoforado, M. S.

Escola Politécnica de Pernambuco

Universidade de Pernambuco

50.720-001 - Recife, Brasil

msa@ecomp.poli.br

Resumo *A face consegue transmitir as emoções humanas antes mesmo da pessoa verbalizá-las [1]. Por este motivo, estudos na área de Reconhecimento de Expressões Faciais (REF) vêm sendo cada vez mais desenvolvidos na computação [2,3,4]. As redes neurais artificiais (RNAs) [5] são métodos que têm sido aplicados com sucesso nos mais diversos problemas da visão computacional, como reconhecimento de faces [6], reconhecimento de expressão facial [7], reconhecimento de caracteres [8], reconhecimento de gestos [9], segmentação de imagens [10], entre outros. Este estudo irá realizar uma comparação entre RNAs autoassociativas de arquitetura profunda e simples aplicadas ao REF, utilizando a banco de imagens JAFFE. Além disso, irá realizar uma comparação entre os resultados obtidos e a técnica Principal Component Analysis (PCA).*

Abstract *Face can transmit human emotions even before the person verbalize them [1]. For this reason, studies on Facial Expression Recognition (FER) are being increasingly developed in computer science [2,3,4]. Artificial Neural Networks (ANNs) [5] are methods that have been successfully applied in various problems of computer vision, as face recognition [6], facial expression recognition [7], character recognition [8], gesture recognition [9], image segmentation [10], among others. This study will make a comparison between ANNs using autoassociative model with deep and simple architecture applied to FER, using JAFFE database. Moreover, it will make a comparison between the results obtained and the Principal Component Analysis (PCA) technique.*

1 Introdução

O desenvolvimento de modelos baseados em teorias sobre a estrutura do cérebro humano tem se mostrado como uma importante ferramenta para a inspiração de novas abordagens para problemas de reconhecimento de padrões visuais. Apesar do cérebro humano não ser completamente entendido, ele já inspirou vários mecanismos utilizados em tarefas de reconhecimento de padrões, como as redes neurais artificiais [11].

Assim, baseadas no conceito de memória autoassociativa do cérebro humano, surgem RNAs que utilizam os modelos autoassociativos e de arquitetura profunda.

Tais RNAs aprendem com uma menor interferência externa, principalmente no que diz respeito à extração de características que é realizada pela própria RNA que recebe como entrada os dados na forma bruta.

Um outro método que realiza extração de características é o PCA. Este tem por finalidade básica a análise dos dados usados visando sua redução, eliminação de sobreposições e a escolha das formas mais representativas de dados a partir de combinações lineares das variáveis originais.

A partir destes conceitos, objetiva-se comparar as taxas obtidas no reconhecimento de expressões faciais com RNAs autoassociativas de arquitetura simples e profunda e os resultados já existentes na literatura do método PCA.

2 Principais Conceitos

2.1 Modelo Autoassociativo

A memória autoassociativa é um tipo de memória presente no cérebro humano para armazenamento de memória episódica e de curto prazo [12]. Nesse tipo de memória, o processo de aprendizagem de novos padrões é muito rápido e, após o aprendizado, um padrão pode ser recuperado com apenas um fragmento do mesmo [11].

No modelo autoassociativo, deseja-se que a entrada passada à rede seja retornada como saída. Logo, a rede neural possui a mesma quantidade de neurônios na camada de entrada e na camada de saída.

RNAs autoassociativas são capazes de aprender de modo implícito as características internas dos dados de entrada. Ou seja, elas conseguem aprender certas características pertencentes ao padrão apresentado na entrada sem a necessidade de qualquer conhecimento anterior ou instrução específica.

2.2 Modelo de Arquitetura Profunda

As arquiteturas profundas diferem-se das superficiais por apresentarem modelos mais profundos do que largos. Elas são consideradas como uma composição de várias camadas de componentes adaptativos não-lineares. Uma rede neural MLP autoassociativa com apenas uma camada escondida é considerada um modelo de arquitetura superficial [figura 1], enquanto a adição de várias camadas escondidas torna-a um modelo de arquitetura mais profunda [figura 2] e com maior capacidade de representar certas famílias de funções.

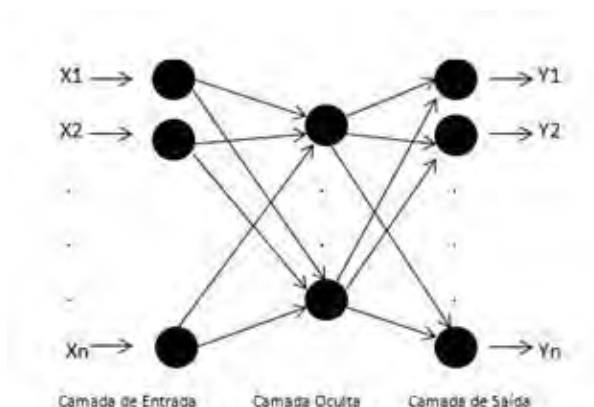


Fig 1. Exemplo de RNA autoassociativa de arquitetura simples.

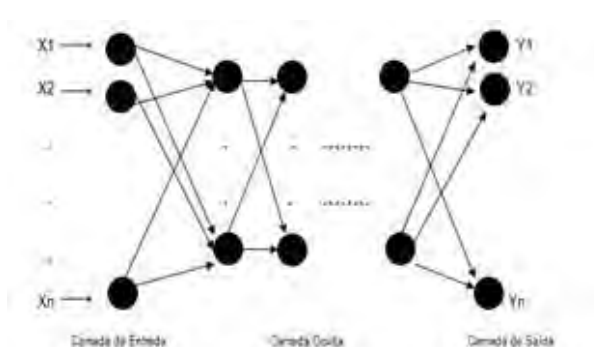


Fig 2. Exemplo de RNA autoassociativa de arquitetura profunda.

Os modelos de arquitetura profunda podem aprender com menor envolvimento humano na construção do modelo antes do treinamento, menos padrões de exemplo e menor custo computacional, pois integram as etapas de extração de características e classificação em um mesmo modelo [11]. Estes modelos também dispensam processos prévios de extração de características visto que realizam esta etapa implicitamente através das várias camadas de processamento.

2.3 PCA

O PCA é um dos métodos estatísticos de múltiplas variáveis mais simples e vem sendo muito utilizado na área de reconhecimento de padrões [13, 14].

Classificadores autoassociativos almejam aprender a estrutura interna de uma dada classe de padrões com base apenas nos elementos que a compõem. O PCA é um dos métodos mais simples que podem ser aplicados na realização de tal tarefa [11].

Contudo, PCA possui a capacidade de identificar apenas correlações lineares no conjunto de dados. Redes neurais inspiradas na metodologia NLPCA (*Nonlinear*

Principal Component Analysis) [15], tal qual a MLP, também podem ser utilizadas como classificadores autoassociativos, com a vantagem de possibilitar correlações não-lineares entre as variáveis.

2.4 JAFFE

A base de dados de Expressões Faciais de Japonesas (*Japanese Female Facial Expression*, JAFFE) [16] foi desenvolvida para colaborar na avaliação de métodos no problema de reconhecimento de expressão facial. Esta base contém imagens de 6 expressões faciais: raiva, nojo, medo, alegria, tristeza e surpresa; além de imagens que caracterizam a face neutra. As imagens da base JAFFE foram coletadas a partir de 10 pessoas, apresentando 3 ou 4 imagens de cada expressão para cada pessoa.

3 Experimentos

Durante a pesquisa, foi criada uma MLP autoassociativa que utiliza o *backpropagation* como algoritmo de treinamento da rede, o método *Resilient Propagation* (Rprop) para ajuste dos pesos e a sigmóide logística como função de ativação.

Utilizando esta rede, foram feitos treinos com a base JAFFE utilizando 2 imagens de cada expressão de cada pessoa para treino e o resto das imagens para teste. Estes treinos foram feitos com a MLP com arquiteturas profunda, várias camadas escondidas, e simples, apenas uma camada oculta. No experimento, quantidade de neurônios da(s) camada(s) oculta(s), tamanho da imagem, quantidades de épocas e iterações foram variados.

Os resultados são avaliados utilizando matriz de confusão e a taxa de classificação é obtida através da média de 30 iterações de teste.

4 Resultados

Assim, os melhores resultados alcançados, utilizando 100 épocas, podem ser vistos nas tabelas a seguir:

Tabela 1. Resultados do modelo de arquitetura simples.

Neurônios na camada oculta	Tamanho da imagem	Taxa de classificação	Desvio padrão
2	40	87,4%	3,26
3	30	86,8%	2,51
5	50	87,4%	3,05
10	50	87,4%	2,84

Tabela 2. Resultados do modelo de arquitetura profunda com 2 camadas ocultas.

Neurônios nas camadas ocultas	Tamanho da imagem	Taxa de classificação	Desvio padrão
2,1	30	87,2%	3,14
5,3	50	87,3%	2,52
10,5	50	88,1%	2,45

Tabela 1. Resultados do modelo de arquitetura profunda com 3 camadas ocultas.

Neurônios nas camadas ocultas	Tamanho da imagem	Taxa de classificação	Desvio padrão
2,1,2	50	87,7%	2,99
5,2,5	40	87,4%	2,50
10,5,5	30	87,1%	2,74

A tabela a seguir mostra a matriz de confusão média do melhor caso obtido:

Tabela 4. Matriz de confusão média do resultado encontrado utilizando duas camadas ocultas com 10 e 5 neurônios, respectivamente.

	DI	SU	HA	SA	AN	FE	NE
DI	8,233333	0	0	0,566667	0,2	0	0
SU	0	9,066667	0,3	0,433333	0	0,233333	0,233333
HA	0	0,3	9	0,133333	0	0,333333	1,2
AS	0,3	0,3	0,333333	8,933333	0,2	0,633333	0,833333
NA	0,5	0	0	0,666667	9,433333	0	0
FE	0,565555	0,433333	0	0,633333	0	9,3	1,066667
NE	0	0	0	0	0	0	10

O melhor resultado encontrado mostra-se superior ao encontrado na literatura pelo PCA [17] que alcança uma taxa de 80,0%.

5 Conclusão

Após analisar as tabelas, pode-se concluir que a RNA autoassociativa consegue reconhecer expressões faciais alcançando uma boa taxa de classificação de 88,1%.

Entretanto, as taxas de classificação obtidas utilizando uma MLP autoassociativa de arquitetura profunda mostraram-se discretamente superiores aos resultados encontrados utilizando a MLP autoassociativa de arquitetura simples. Isso mostra que a simples adição de camadas, porém, não tornará o modelo necessariamente mais eficiente para resolver problemas de visão computacional. Deve-se fazer uma análise para assim definir os tipos de conexão entre os neurônios e a forma como eles serão relacionados. Algoritmos construtivos e evolucionários, além de métodos de otimização, podem ser levados em conta nesta análise.

Porém, os resultados obtidos com a MLP autoassociativa, que realiza um PCA não-linear, durante foram bastante superiores a melhor taxa obtida pelo PCA, mostrando assim que correlacionar as variáveis de maneira não-linear é mais eficiente.

Referências

- [1]] Mehrabian, A. (1968). "Communication without words," Psychol. Today, vol.2, pp. 53–56.
- [2] Tai, S. C. and Chung, K. C. (2007). Automatic Facial Expression Recognition System Using Neural Networks. IEEE publications.
- [3] Lajevardi, S. M. and Lech, M. (2008). Facial Expression Recognition Using Neural Networks and Log-Gabor Filters. IEEE publications.
- [4] Chen, L. , Zhang, T., Gui, X. and Yang, G. (2010). Development of Research on Facial Expression Recognition. IEEE publications.
- [5] Haykin, S. (1999). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. IEEE Press.
- [6] Wong, Y. W., K. P. Seng e L.-M. Ang (2011). 'Radial basis function neural network with incremental learning for face recognition'. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans* 41(4), 940–949.
- [7] Zavaschi, T. H. H., A. S. B. Jr., L. E. S. Oliveira e A. L. Koericha (2013). 'Fusion of feature sets and classifiers for facial expression recognition'. *Expert Systems with Applications* 40, 646–655.
- [8] Lecun, Y., L. Bottou, Y. Bengio e P. Haffner. (1998). *Gradient-based learning applied to document recognition*. In 'Proceedings of the IEEE'. Vol. 86. pp. 2278–2324.
- [9] Nolker, C. e H. Ritter (2002). 'Visual recognition of continuous hand postures'. *IEEE Transactions on Neural Networks* 13(4), 983–994.
- [10] Dong, G. e M. Xie (2005). 'Color clustering and learning for image segmentation based on neural networks'. *IEEE Transactions on Neural Networks* 16(4), 925–936.
- [11] Fernandes, B. J. T. (2013). *Redes Neurais com Extração Implícita de Características para Reconhecimento de Padrões Visuais*. 29 de julho de 2013. 155 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.
- [12] Rolls, E. T. e A. Treves. (1998). *Neural networks and brain function*. Oxford University Press.
- [13] Liu, C. (2004). Gabor-based kernel PCA with fractional power polynomial models for face recognition. IEEE publications.
- [14] Nedevschi, S., Peter, I.R. and Mandrut, A. (2012). PCA type algorithm applied in face recognition. IEEE publications.
- [15]] Reyes, J., M. Vellasco e R. Tanscheit (2012). 'Monitoramento e diagnóstico de múltiplos sensores por redes neurais auto-associativas'. *Sba: Controle e Automação Sociedade Brasileira de Automatica* 23, 121 – 137.
- [16] Lyons, M. J., M. Kamachi e J. Gyoba. (1997). *Japanese Female Facial Expressions (JAFFE), database of digital images*.
- [17] Zhi, R., M. Flierl, Q.-Q. Ruan and W. B. K. (2011). 'Graph-preserving sparse nonnegative matrix factorization with application to facial expression recognition'. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics* 41(1), 38–52.

Modelagem Computacional para Acidentes de Reatividade em Reatores Nucleares

Câmara Filho, P. C. B.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
paulo.camara@upe.br

Alves, U. E F.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
uefalves@upe.br

Lima, F. R. A.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
falima@cnen.gov.br

Castrillo, L. S.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
lazara.siveira@upe.br

Resumo

Reatores nucleares de pesquisa são comumente localizados em universidades e vastamente utilizados para desenvolvimento de novos procedimentos operacionais. O reator IPR-R1 TRIGA, localizado no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, tem utilização destacada na produção de radioisótopos e no treinamento de pessoal. Atualmente o IPR-R1 passa por um processo de licenciamento para trabalhar a 250kW. Neste trabalho, é utilizado o código PARET-Program for the Analysis of Reactor Transients, para simular inserções de reatividade e verificar o comportamento dos parâmetros de segurança nessa nova potência de 250kW.

Abstract

Nuclear research reactors are commonly located in universities and widely used to develop new operational procedures. The IPR-R1 TRIGA reactor, located in the Center of Nuclear Technology Development, has highlighted the use of radioisotope production and training of personnel. Currently the IPR-R1 passes through a licensing process to work 250kW. In this work, we use the code PARET-Program for the Analysis of Reactor Transients, to simulate reactivity insertions and verify the behavior of the security parameters of this new power 250kW.

1 Introdução

No lugar da energia térmica, o aproveitamento em reatores de pesquisa é da radiação nuclear que propicia a realização de diferentes tipos de experimentos. O IPR-RI TRIGA (Training Research Isotopes, General Atomics), modelo Mark I, é um reator desse tipo e está localizado em Belo Horizonte, no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN. Atualmente o núcleo está operando com 100kW; no entanto existe um processo de licenciamento com o intuito de elevar sua potência para 250kW térmicos [1]. Com esse último valor de potência, a circulação natural garante que a temperatura máxima do combustível permaneça dentro dos limites de segurança [2]. No entanto, existe uma variedade de cenários e eventos que podem induzir acidentes, como inserções inadvertidas de reatividade resultando em aumento descontrolado da potência do reator e, em casos extremos, é possível haver danos a integridade do seu núcleo.

Para simular a sensibilidade de parâmetros termo-hidráulicos de segurança, como a temperatura máxima atingida no canal combustível mais quente, que implica maior fator de pico, foram modelados transitórios quando inseridos pulsos de reatividade positiva (RIA) no núcleo do reator IPR-RI.

Foi utilizado o código PARET (Program for the Analysis of Reactor Transients) para realização das simulações, o qual tem acoplados os modelos termo-hidráulicos e neutrônicos no núcleo e um contínuo efeito de realimentação de reatividade.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Descrição do Reator IPR-RI TRIGA

O Reator Nuclear IPR-RI TRIGA, fabricado pela General Atomic de San Diego – Califórnia, é refrigerado por água leve desmineralizada e possui, como combustível, urânio enriquecido a 20% em U_{235} . Foi projetado para treinamento, pesquisa e ativação neutrônica de materiais e produção de radioisótopos [1].

Existem mais reatores de pesquisa, do tipo TRIGA, em funcionamento em diversos países do mundo, do que qualquer outro tipo. No Brasil, ele encontra-se no CDTN e sua primeira criticalidade ocorreu em 1960, com uma potência de 30 kW. Desde então, vem sendo utilizado para importantes aplicações nas áreas de treinamento de pessoal especializado, produção de radioisótopos, entre outras. Após mudanças em sua configuração, a potência passou a 100 kW e, mais recentemente, já tem capacidade para operar a 250 kW. Esse último nível de potência ainda se encontra em processo de licenciamento.

O núcleo do reator forma um reticulado cilíndrico com 91 posições, onde estão instalados 63 elementos combustíveis-moderadores. Esses componentes são dispostos formando cinco anéis concêntricos e são mantidos em posição vertical, suportados por duas grades circulares. O núcleo é circundado por um refletor de grafita. Uma coluna de aproximadamente 5 metros de água faz a blindagem em relação ao topo do poço [3]. Na tabela 1, são especificados os principais dados geométricos do IPR-RI:

Tabela 1. Características dos Elementos Combustíveis(CDTN/CNEN,2000)

Propriedade	Elemento Alumínio	Elemento Aço Inox
Quantidade	59	4
Comprimento total (m)	0,7724	0,7206
Diâmetro externo do revestimento (m)	0,0373	0,0376
Espessura do revestimento(m)	0,00076	0,00051
Material do revestimento	Al 1100-F	Aço AISI-304
Diâmetro do combustível (m)	0,035,6	0,036,3
Largura do <i>gap</i> (m)	0,00009	0,00014
Comprimento ativo do combustível (m)	0,3556	0,381
Composição do combustível	U-ZrH1,0	U-ZrH1,6
Comprimento do refletor de grafita (m)	0,1016	0,0881
Diâmetro do refletor de grafita(m)	0,0356	0,0363
Área total de transferência de calor (m ²)	2,46	0,18
Enriquecimento em U_{235} (%)	20	20

2.2 Descrição do Código PARET

O PARET é um código computacional capaz de prever o curso e as consequências de acidentes de inserção de reatividade e de perda de vazão em reatores não pressurizados, através de uma análise que considera os efeitos acoplados de termo-hidráulica e neutrônica no núcleo e um

contínuo efeito de realimentação de reatividade. Ele simula acidentes em reatores com circulação forçada tanto no sentido ascendente como no sentido descendente, bem como acidentes durante o regime de circulação natural [4].

No PARET, o modelo do reator consiste em um núcleo resfriado à água que pode ser representado por até quatro elementos de combustível nas geometrias cilíndrica ou em placas, com seus respectivos canais de resfriamento. Assim, cada região pode ser representada com sua própria produção de energia, taxa de fluxo de refrigerante e parâmetros hidráulicos. Cada uma dessas regiões pode ainda ser subdividida num máximo de 20 cortes axiais [5], como mostrado na figura 1.

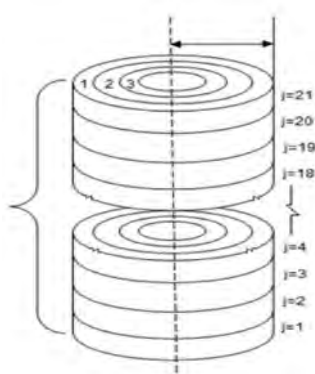


Figura 1. Exemplo de subdivisão do núcleo em seções axiais e radiais [5].

3 Metodologia

Este trabalho analisa o comportamento da temperatura, da reatividade retroalimentada e da potência do reator TRIGA IPR-R1 quando realizadas inserções de reatividade externa de 0,1\$, 1\$, 1,5\$, 2,5\$ e 3\$ por 0,5s.

Usando-se o código PARET, foi simulado um transiente durante um segundo em um canal do elemento combustível mais quente, o qual chamamos de B1, conforme mostrado na figura 2:

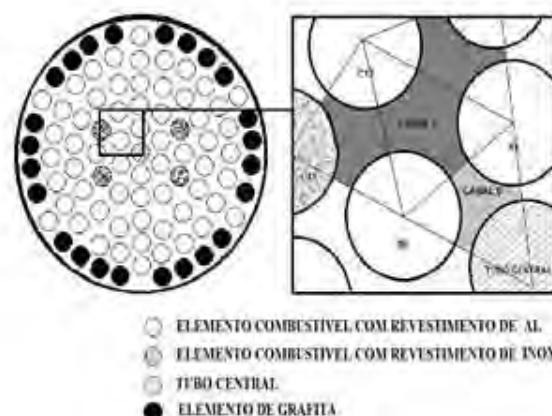


Figura 2. Canais de Refrigeração

Este trabalho utilizará 250 kW como a potência inicial do reator, com a qual já possui capacidade de operar desde 2004, porém estando ainda em fase de licenciamento [6].

De acordo com Alencar [7], a pressão máxima no refrigerante é basicamente a pressão da coluna de água no poço do reator. A altura máxima da coluna de água do topo do poço até a entrada do canal é de aproximadamente 5,5 m [1], sendo calculada a pressão do moderador, na entrada do canal, em $1,5681 \times 10^5$ Pa.

A entalpia foi considerada para um líquido saturado, visto que a pressão a que está submetido o moderador (água) é muito baixa (menor que 0,5 MPa). Segundo Mesquita [1], para o canal 1 (figura 2), as entalpias para cada potência do reator são descritas pela tabela 2.

Tabela 2: Entalpia x Potência do Reator

Potência do Reator (kW)	Entalpia (kg/m ² s)
265	205,40
212	237,98
160	246,35

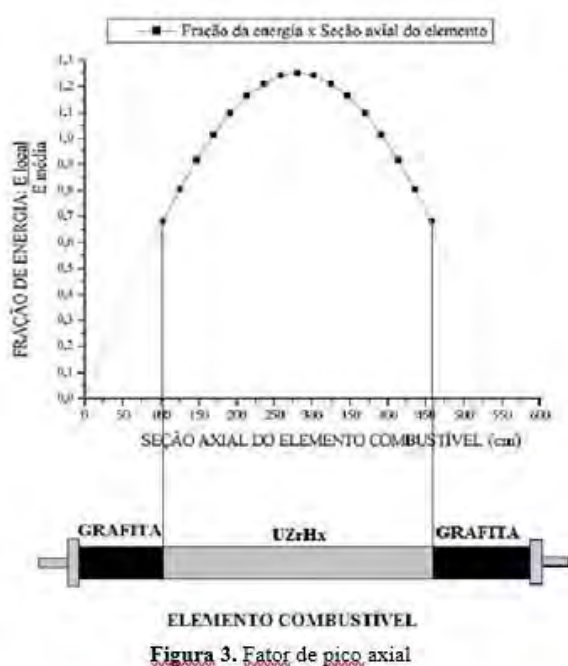
Para a entrada de dados do PARET, o elemento combustível analisado foi dividido em 16 nós axiais e em 7 nós radiais. A densidade máxima de potência em cada elemento combustível corresponde ao produto do fator radial de distribuição no núcleo pelo fator axial na vareta, multiplicado pela densidade média de potência do núcleo [1]. A distribuição axial (F na equação 1) do fluxo de nêutrons em varetas combustíveis é descrita por uma função senoidal [8]. Para reatores TRIGA, essa função senoidal é truncada nas extremidades devido ao refletor de grafite, com razão pico/média de 1,25 a 1,30 [9]. Ela foi calculada com

base nas dimensões do elemento combustível, sendo dada pela

equação 1:

$$F = 1,25 \sin(0,32067 x) \quad (1)$$

Em que, x é a medida axial do elemento, como mostrado na figura 3:



Primeiramente foi executado um teste de validação, comparando-se os dados de temperatura máxima no combustível encontrado na simulação com os valores experimentais do trabalho de Mesquita [1]. Foram simulados valores de potência inicial de 265, 212 e 160 kW sem inserção de reatividade alguma.

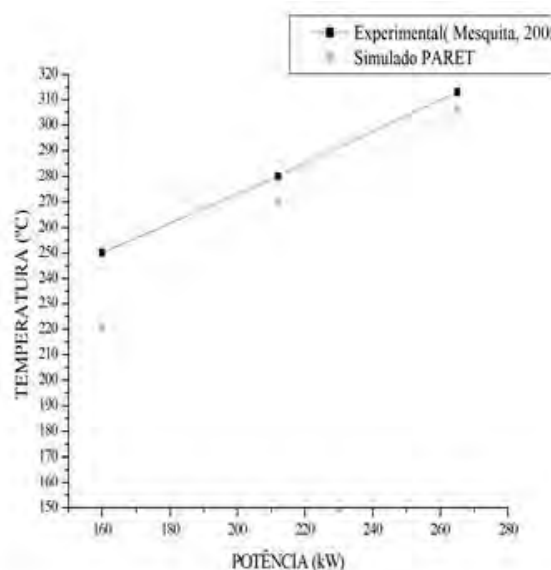
Posteriormente fixou-se a potência em 250 kW e foram simuladas inserções de reatividade de 0,1 \$, 1 \$, 1,5 \$, 2,5 \$ e 3 \$ por 0,5 s, observando-se o comportamento da reatividade retroalimentada, da potência e dos valores máximos de temperatura atingidos no núcleo do combustível.

4 Resultados e análise das simulações

4.1 Teste de Validação do Experimento

No experimento realizado com as potências iniciais de 265, 212 e 160 kW, sem inserção de reatividade externa, obtivemos valores muito próximos daqueles achados

experimentalmente por Mesquita[1], conforme indica a figura 4.



Nota-se que os dois gráficos possuem um perfil similar. O resultado encontrado mostra a proximidade dos valores obtidos com os dados experimentais, havendo uma diferença de 7°C para a potência de 265 kW, de 10 °C para a potência de 212 kW e de 21 °C para a potência de 160 kW. Esse resultado representa uma diferença que varia de 2,64% a um erro máximo de aproximadamente 8,4%. Um fator que pode ter levado a esse erro é que o PARET é um código conservativo, simplista, que utiliza o modelo de cinética pontual. Outro motivo é que foram simulados apenas três efeitos de feedback (temperatura, void e doppler), devido à falta de dados experimentais. O código, apesar de simples, mostra resultados satisfatórios.

4.2 Experimento de Inserções de Reatividade

Mantendo-se a potência inicial em 250 kW e realizando inserções de reatividade externa de 0,1 \$, 1 \$, 1,5 \$, 2,5 \$ e 3 \$ por 0,5 s, observamos os comportamentos da reatividade retroalimentada, da potência e da temperatura máxima no núcleo do combustível, conforme as figuras 5, 6 e 7.

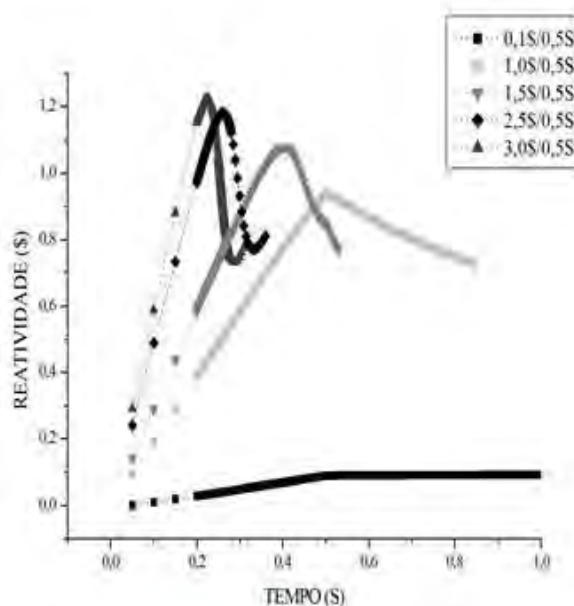


Figura 5. Reatividade x Tempo

Observa-se, na figura 5, que a reatividade sofre uma grande variação, atingindo um pico, mas ela tende a se estabilizar devido a autorregulação do reator. Isso ocorre porque a inserção de reatividade causa um aumento de potência e consequente aumento da temperatura. Este último efeito faz com que os núcleos fiquem mais espaçados, diminuindo os seus choques com nêutrons e diminuindo assim, a reatividade. A variação da reatividade retroalimentada, devido ao aumento da temperatura, é, dessa forma, determinada por variações de dois tipos de grandezas: as neutrônicas, como as seções de choque de absorção, e térmicas, como a diminuição da densidade do moderador.

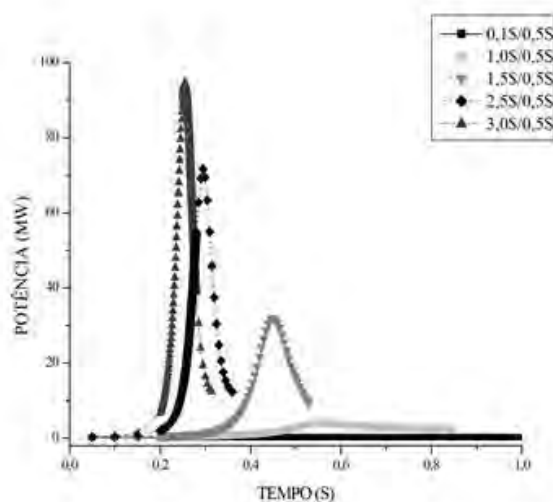


Figura 6. Potência x Tempo

O comportamento da potência, semelhante ao da reatividade, sofre um pico antes de 0,5 segundo. Esse fato pode ser atribuído ao coeficiente de reatividade negativo do combustível do IPR-R1, que interfere diretamente na potência, fazendo com que haja uma queda na taxa de variação. Porém, à medida que a reatividade aumenta, o período estável do reator diminui, tornando maior a probabilidade de aumentos incontroláveis e súbitos de potência, conforme apresentado no transitório de potência, na figura 6.

A figura 7 mostra que a temperatura máxima atingida no núcleo do combustível varia de acordo com a reatividade externamente inserida. Quando inserimos 0,1 \$/0,5 s, a temperatura varia de 296 °C a 303,9 °C. À medida que é aumentada a taxa de inserção de reatividade, as temperaturas máximas também sofrem um acréscimo. Quando inserimos 3 \$/0,5 s, a variação ocorre da mesma temperatura inicial, porém alcançando o patamar de 391 °C.

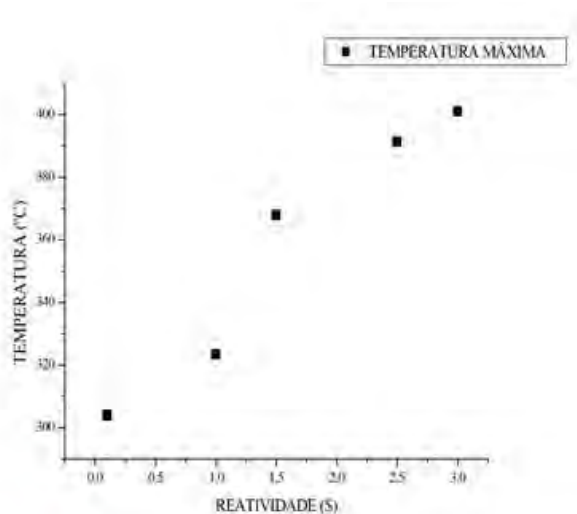


Figura 7. Temperatura Máxima do combustível em função da Reatividade Inserida Externamente

5 Conclusões

O limite de temperatura no IPR-R1 é devido à liberação de hidrogênio da liga de U-ZrH, pois esse hidrogênio causa uma pressão no material que reveste o combustível. A temperatura possui dois limites operacionais de temperatura [1]:

- Temperatura na qual o hidrogênio gasoso formado a partir do ZrH exerce uma pressão elevada no revestimento de alumínio. O valor dessa temperatura é função da relação H/Zr.
- Temperatura em que ocorre transformação de fase da liga U-ZrH. Acima da temperatura de 550 °C ocorre uma distorção progressiva do elemento combustível, provocando alterações significativas no seu volume. Essa temperatura constitui um limite de segurança para a operação do reator com combustível de baixa hidratação (H/Zr é menor que 1,6 para elementos com revestimento de Al).

Na prática, a temperatura limite do combustível com o revestimento de alumínio deverá ser 550 °C (transformação de fase). Embora nesta temperatura não ocorra a perda de integridade do revestimento, ela é um limite operacional, pois acima dela o combustível sofrerá alterações significativas no seu volume.

A análise realizada com o Código PARET indica que, mesmo com altas inserções de reatividade, como de 3 \$/0,5

s, a temperatura não atinge o limite operacional para curtos espaços temporais.

Referências

- [1] A. M. MESQUITA, “Investigação Experimental da Distribuição de Temperaturas no Reator Nuclear de Pesquisa TRIGA IPR-R1”, *Universidade Estadual de Campinas*, Campinas- SP (2005).
- [2] M. M. Haque; M.A. Zulquarnain; M.A. Salam, “Strengthening operational safety of the 3 MW TRIGA MK-II research reactor of Bangladesh Atomic Energy Commission through modification and upgrade of its water system.” *IAEA-CN-82/35*, Savar, Dhaka, Bangladesh, pp7 (2000).
- [3] M. B. Franco, “Levantamento de Parâmetros Nucleares do Reator TRIGA MARK 1 IPR-R1 com Configuração Concêntrica Visando a Aplicação da Técnica de Ativação Neutrônica K_0 ” *Universidade Estadual de Campinas*, Campinas-SP (2005).
- [4] A. C. I. RODRIGUES, “Análise de acidentes de inserção e reatividade postulados para reator IEA-R1m”. *Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares*, São Paulo-SP (1997)
- [5] C. F. OBENCHAIN, “PARET - A program for the analysis of reactor transients”, *Idaho National Engineering Laboratory*, Idaho (1969).
- [6] A. J. PINTO, “Simulação da evolução da potência de reatores nucleares de pesquisa utilizando o software Labview”, *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*. Vol. 14, N.º 1, pp. 51-61 (2010)
- [7] D. A. de ALENCAR, “Avaliação de integridade de revestimentos de combustíveis de reatores de pesquisa e teste de materiais utilizando o ensaio de corrente parasitas”, *Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares*, São Paulo-SP (2004).
- [8] M. M. EL-WAKIL, “Nuclear power engineering”. *McGraw-Hill Book Company*, New York, pp555 (1962)
- [9] GENERAL ATOMIC. “Safeguards summary report for the New York University TRIGA Mark I Reactor”. (GA-9864), San Diego, pp172 (1970)

Propriedades ópticas lineares e não-lineares de nanopartículas de ouro superconcentradas

Malagón, L. A. G.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
cabm@dsc.upe.br

Damasceno, R. P. D.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

As propriedades lineares e não lineares (NL) ópticas de materiais compósitos contendo alta concentração de nanopartículas (NPs) de ouro foram estudados usando o modelo de Maxwell-Garnett e o modelo do gás-elétron degenerado. Foram observados altos valores do índice de refração linear do compósito, deslocamento não-linear do pico de ressonância do plasmon e sinal de reversão das partes real e imaginária da susceptibilidade não-linear de terceira ordem. Figuras de mérito para dispositivos fotônicos foram calculadas e preenchidas tomando como base o fator de preenchimento e o tamanho das NPs.

Abstract

Linear and nonlinear (NL) optical properties of composite materials containing high concentration of gold nanoparticles (NPs) were studied using the Maxwell–Garnett model and the degenerated electron gas model. High values of the linear refraction index of the composite, NL shift of the plasmon resonance peak and reversal sign of the real and imaginary parts of the NL third-order susceptibility were observed. Figures of merit for photonic devices were calculated and fulfilled depending of the filling factor and NPs size.

1 Introdução

Materiais compósitos contendo nanopartículas metálicas têm recebido uma extraordinária atenção devido a seus altos valores de susceptibilidades ópticas NL [1, 2]. Em materiais compósitos com uma topologia de Maxwell-Garnett, observa-se que a resposta óptica depende de muitas variáveis, como formato e tamanho das NPs, constante dielétrica dos constituintes, fator de preenchimento, susceptibilidades NL de inclusão e do substrato, e o comprimento de onda e duração do pulso do laser de excitação. A influência de cada parâmetro nas propriedades ópticas lineares e NL foi estudada a partir de um ponto de vista teórico e experimental. Por exemplo, a relação entre a resposta NL e o tamanho das NPs foi recentemente estudada para NPs de prata e ouro utilizando o modelo do gás-elétron degenerado [3-5]. A influência da constante dielétrica do substrato na susceptibilidade NL de terceira ordem foi estudada e analisada usando o modelo de Maxwell-Garnett [6, 7]. Além disso, diferenças na resposta NL foram observadas sob diferentes comprimento de onda e duração do pulso do laser de excitação em compósitos contendo nanopartículas de ouro [8]. A influência do fator de preenchimento no limite de baixas concentrações foi estudada, e observou-se os cancelamentos entre a refração NL e a absorção NL com o aumento da fator de preenchimento [9, 10]. Em ambos os casos, a contribuição das propriedades ópticas NL do substrato desempenhou um papel importante na descrição sinal de reversão. No caso de compósitos contendo altas concentrações de NPs, as propriedades ópticas NL foram estudadas experimentalmente em regime de femtosegundo, picosegundo e nanosegundo [8, 11, 12].

Vamos, aqui, analisar teoricamente a influência de altos valores do fator de preenchimento nas propriedades ópticas lineares e NL de nanopartículas de ouro utilizando o modelo do gás-elétron degenerado e o modelo de Maxwell-Garnett.

2 Propriedades ópticas lineares

Considere-se um compósito contendo NPs metálicas de formato esférico em um substrato com resposta óptica desprezível. As propriedades ópticas lineares podem ser estudadas usando o modelo de Maxwell-Garnett, que estabelece a relação entre a constante dielétrica do material compósito, ϵ , com as constantes dielétricas das NPs ϵ_{NP} , e do substrato, ϵ_h , da seguinte maneira:

$$\epsilon = \epsilon_h \left(1 + \frac{3\beta p}{1 - \beta p} \right) \quad (1)$$

em que $\beta = (\epsilon_{NP} - \epsilon_h) / (\epsilon_{NP} + 2\epsilon_h)$ e p é o fator de preenchimento. O coeficiente de absorção linear, α , e o índice

de refração linear, n , podem ser expressos da seguinte forma:

$$n = \sqrt{\frac{\epsilon' + \sqrt{\epsilon'^2 + \epsilon''^2}}{2}} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{2\pi \epsilon''}{\lambda n} \quad (3)$$

em que λ é o comprimento de onda, e ϵ' e ϵ'' são as partes real e imaginária de ϵ , respectivamente. A dependência entre a constante dielétrica das NPs e a frequência e tamanho foi calculada anteriormente para NPs de ouro usando o modelo do Ponto Crítico incluindo correções no parâmetro de amortecimento [3]. Assim, a constante dielétrica das NPs pode ser escrita como:

$$\epsilon_{NP}(\omega, R) = \epsilon_{C.P}(\omega) + i \frac{A \omega_p^2 v_F}{\omega^3 R} \quad (4)$$

em que $\epsilon_{C.P}(\omega)$ é a constante dielétrica do ouro em função da frequência calculada utilizando o modelo do Ponto Crítico, A é o parâmetro de dispersão, ω_p é a frequência de plasma, v_F é a velocidade de Fermi, $\omega = 2\pi/\lambda$ é a frequência, e R é o raio das NPs.

No limite de valores baixos do fator de preenchimento, uma expressão analítica para o coeficiente de absorção linear pode ser calculada a partir de (3) utilizando (1) e (2), como segue:

$$\alpha(\lambda, R) = \frac{18\pi p}{\lambda} \epsilon_h^{3/2} \frac{\epsilon''_{NP}(\lambda, R)}{(\epsilon'_{NP}(\lambda, R) + 2\epsilon_h)^2 + \epsilon''_{NP}^2(\lambda, R)}, \quad (5)$$

A equação (5) mostra uma dependência linear entre o coeficiente de absorção e p , e um valor máximo, conhecido como ressonância de plasma, quando $(\epsilon'_{NP}(\lambda, R) + 2\epsilon_h)^2 + \epsilon''_{NP}^2(\lambda, R) \approx 0$. Além disso, o índice de refração linear calculado a partir da equação (2) pode ser aproximada para $n \approx \sqrt{\epsilon'}$ porque $\epsilon'' \approx 0$ no espectro visível. Como a parte real da constante dielétrica é praticamente constante, o índice de refração linear também o é.

No entanto, para valores elevados de p , é importante levar em consideração a contribuição das polarizações da vizinhança das NPs na resposta óptica. Tomando essa consideração, as propriedades ópticas lineares de um compósito Maxwell-Garnett com diferentes tamanhos e fatores de preenchimento para NPs de ouro em um substrato vítreo ($\epsilon_h = 2,25$) foram calculadas usando as Equações (1) - (3), e os resultados são mostrados nas Figuras 1, 2, 3 e 4.

Os espectros do coeficiente de absorção linear espectros são mostrados na Fig. 1, para diferentes valores de p .

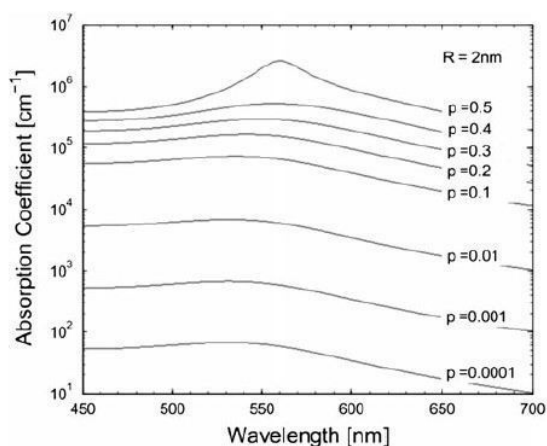


Fig 1. Dependência espectral do coeficiente de absorção para diferentes valores do fator de preenchimento.

A partir desses espectros, observa-se um deslocamento vermelho no pico de ressonância do plasmon (PRP) quando o fator de preenchimento é aumentado. A dependência entre o PRP e o tamanho das NPs e p é apresentada na Fig. 2.

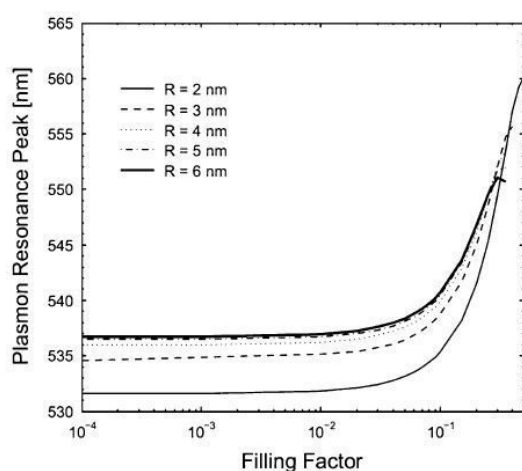


Fig 2. Dependência do pico de ressonância do plasmon e o fator de preenchimento para vários tamanhos de NPs.

O PRP é deslocado em vermelho quando o tamanho das NPs é aumentado e tem uma forte variação NL para $p > 0,01$. Para $p < 0,01$, observa-se que o PRP é praticamente constante para um compósito com NPs de tamanho constante. Por outro lado, a dependência entre o índice de refração linear e o fator de preenchimento e tamanho das NPs é mostrada nas Figs. 3 e 4.

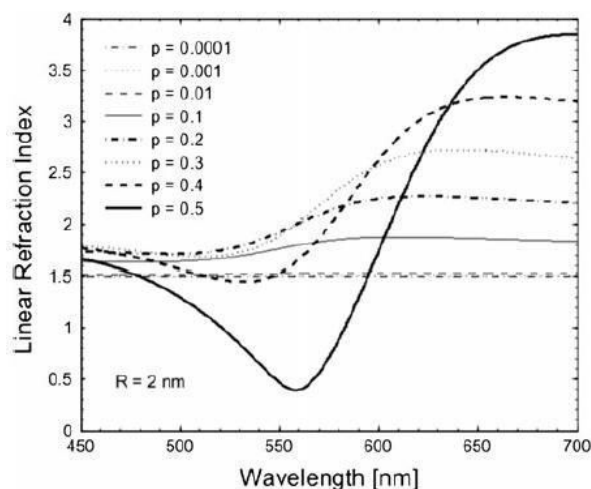


Fig 3. Dependência espectral do índice de refração linear para diferentes valores do fator de preenchimento.

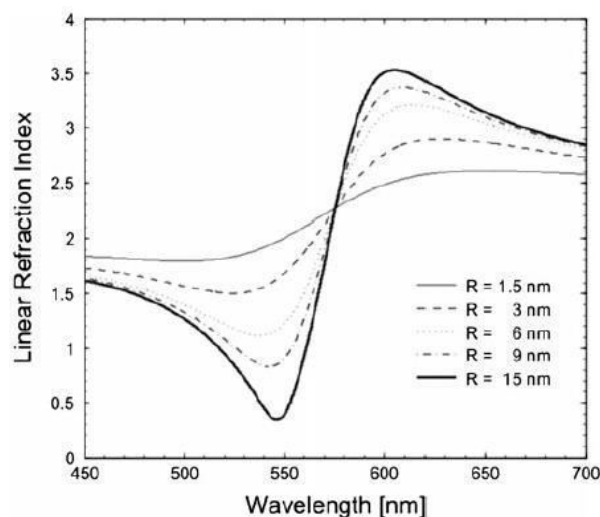


Fig 4. Dependência espectral do índice de refração linear para vários tamanhos de NPs.

Para baixos valores de p , o índice de refração linear é praticamente constante no espectro visível tal como apresentado na Fig. 3. Para valores elevados do fator de preenchimento, foram previstos altos e baixos valores no índice de refração linear em torno da ressonância de plasma e próximo à região do infravermelho, respectivamente. Na Fig. 4, a dispersão do índice de refração linear foi calculada considerando constante o valor de p ($p = 0,3$) e aumentando o tamanho das NPs. Da figura vê-se que o índice de refração linear tem valores menores que 1 em torno do PRP, permitindo altos valores no coeficiente de absorção de acordo com a Equação (3). Além disso, para comprimentos de onda em torno de 600 nm, o índice de refração linear aumenta com o tamanho das NPs, indicando elevada resposta não linear de acordo com a regra da Miller [13].

A partir da Fig. 3, é importante observar que, se o fator de preenchimento é aumentado ainda mais, pode-se obter valores negativos de n conforme relatado para nanoestruturas similares [14-16]. Do ponto de vista experimental, medições das propriedades ópticas lineares de compósitos que contenham NPs de ouro são relatadas na literatura, e o modelo de Maxwell-Garnett aqui apresentado descreve bem os resultados publicados [17-19].

3 Propriedades ópticas não-lineares

Para um compósito com uma topologia de Maxwell-Garnett e resposta óptica do substrato desprezível, as propriedades ópticas NL podem ser calculadas utilizando o modelo de Maxwell-Garnett e o modelo do gás-elétron degenerado. Para baixos fatores de preenchimento, e considerando que o compósito está na presença de um campo elétrico externo E_0 , o campo elétrico dentro da NP é $E_{in} = f E_0$, em que o termo $f = 3\epsilon_h / (\epsilon_{NP} + 2\epsilon_h)$ é o fator de campo local. Sob esta condição, a suscetibilidade NL de terceira ordem do compósito $\chi_{eff}^{(3)}$, pode ser escrita como $\chi_{eff}^{(3)} = pf^2 |f|^2 \chi_{NP}^{(3)}$, em que $\chi_{NP}^{(3)}$ é a suscetibilidade NL de terceira ordem das NPs. Utilizando esta abordagem, as propriedades ópticas NL foram calculadas para os compósitos contendo NPs de prata e de ouro [3, 4]. No entanto, para valores elevados de p , o campo elétrico em torno da NP é afetado pelas contribuições das outras NPs. Dessa forma, o fator de campo local é corrigido e a suscetibilidade NL pode ser escrita como $\chi_{eff}^{(3)} = p\eta^2 |\eta|^2 \chi_{NP}^{(3)}$, em que $\eta = (\epsilon + 2\epsilon_h) / (\epsilon_{NP} + 2\epsilon_h)$ [20]. A partir desta expressão, a dependência NL de $\chi_{eff}^{(3)}$ com p é dada pelo fator de campo local corrigido, η . A suscetibilidade NL de terceira ordem das NPs pode ser calculada usando o modelo do gás-elétron degenerado, que descreve $\chi_{NP}^{(3)}$ considerando que um elétron está em uma fonte de potencial esférica infinitamente profunda de raio R . No limite de $l \gg (R/\lambda) \gg (v_F/2\pi c)$, $\chi_{NP}^{(3)}$ pode ser escrita como [5]:

$$\chi_{NP}^{(3)} = \frac{2}{15} \left(\frac{e^2 n}{m\omega^2} \right) \left(\frac{eR}{\hbar\omega} \right)^2 \frac{\Gamma_2}{\Gamma_1} \times \left\{ F_3 - i \left[\frac{2\Gamma_2}{\omega} F_3 + \left(\frac{\omega}{2\Gamma_2} \right)^2 \left(\frac{v_F}{R\omega} \right)^5 g_3 \right] \right\} \quad (6)$$

em que m é a massa do elétron, e representa sua carga, n é a densidade de elétrons, $\omega = 2\pi c/\lambda$ é a frequência, c é a velocidade da luz, $\hbar$ é a constante de Planck reduzida, v_F é a velocidade de Fermi, F_3 varia de 0,30 a 0,33 para partículas entre 2 e 15 nm, $g_3 = 0,64$, e Γ_1 e Γ_2 representam as taxas de relaxamento para a população e coerência, respectivamente. Os valores de Γ_1 e Γ_2 foram determinados anteriormente para compósitos contendo NPs de ouro [3].

Os cálculos das propriedades ópticas NL de um compósito contendo NPs de ouro com raios de 3 nm incorporadas em um substrato com um índice de refração linear de 1,5 são dados nas Fig. 5 e 6.

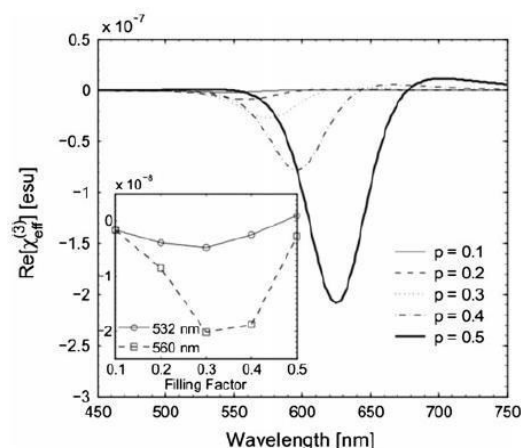


Fig 5. Dependência espectral da parte real da suscetibilidade NL de terceira ordem para diferentes valores do fator de preenchimento.

Os resultados mostram mudanças no sinal da parte real e imaginária da suscetibilidade NL. Por exemplo, em 532 nm (560 nm), há uma mudança na parte real (imaginária) de negativo (positivo) para positivo (negativo), enquanto que a parte imaginária (real) tem um comportamento NL sem reversão do sinal. Mudanças de quase três ordens de magnitude para as partes imaginária e real da suscetibilidade NL em 650 e 625 nm de $1,8 \times 10^{-10}$ e $3,0 \times 10^{-10}$ esu para $p = 0,1$ - $1,31 \times 10^{-07}$ e $-2,1 \times 10^{-07}$ esu para $p = 0,5$ foram previstos, respectivamente.

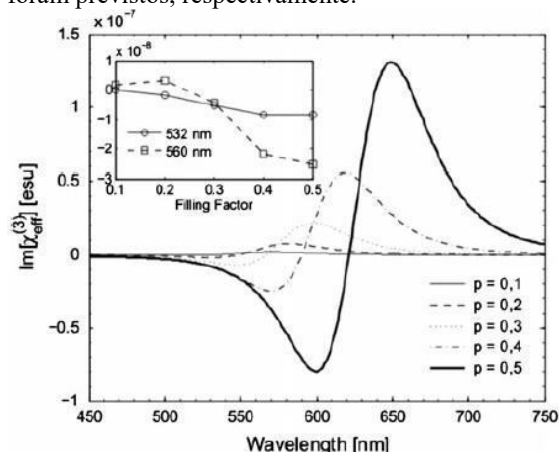


Fig 6. Dependência espectral da parte imaginária da suscetibilidade NL de terceira ordem para diferentes valores do fator de preenchimento.

A influência do tamanho das NPs na resposta NL foi calculada para $p = 0,3$ e os resultados são apresentados nas Figs. 7 e 8.

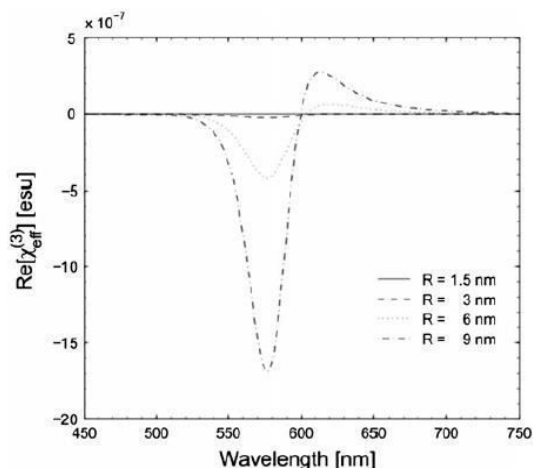


Fig 7. Dependência espectral da parte real da suscetibilidade NL de terceira ordem para vários tamanhos de NPs.

Das figuras, observa-se que a posição da resposta máxima não é alterada, e que a resposta NL é aumentada de forma não linear, quando o tamanho das NPs cresce. A dependência de $\chi_{\text{eff}}^{(3)}$ com R é dada através das Eqs. 4 e 5 para $\epsilon_{\text{NP}}(\omega, R)$ e $\chi_{\text{NP}}^{(3)}$, respectivamente.

Para compreender a influência do fator de preenchimento na resposta NL, é importante observar que o campo local corrigido pode ser escrito como $\eta = f / (1 - \beta p)$, em que o termo $1 / (1 - \beta p)$ é o fator de correção de f . Portanto, as diferenças entre a

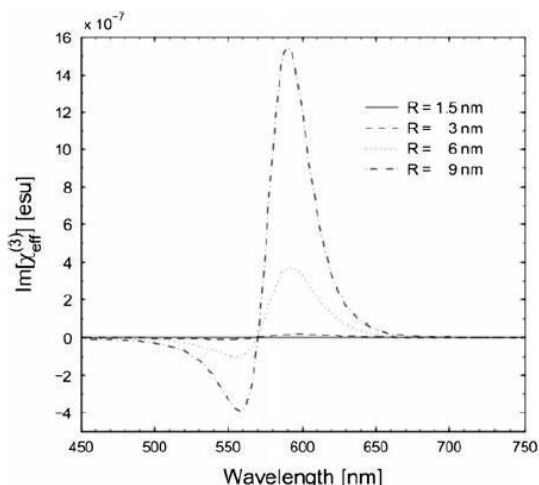


Fig 8. Dependência espectral da parte imaginária da suscetibilidade NL de terceira ordem para vários tamanhos de NPs.

susceptibilidade NL em altos e baixos valores do fator de preenchimento são dadas pelo quociente $\chi_{\text{eff,high}}^{(3)} / \chi_{\text{eff,low}}^{(3)} = (1 - \beta p)^2 / (1 - \beta p)^2$. Em pequenos valores de p , o termo $1 - \beta p$ é praticamente real e o sinal da susceptibilidade NL do composto é dado pela susceptibilidade NL das NPs. No entanto, em valores elevados de p , a parte imaginária de $1 - \beta p$ não é desprezível e será responsável pela dependência entre as partes real e imaginária de $\chi_{\text{eff}}^{(3)}$ e p .

Do ponto de vista experimental, a Fig. 9 mostra os valores medidos de $|\chi_{\text{eff}}^{(3)}|$ obtidos no regime femtosegundo em 532 nm para compostos com altos valores do fator de preenchimento de NPs de ouro em SiO_2 [8].

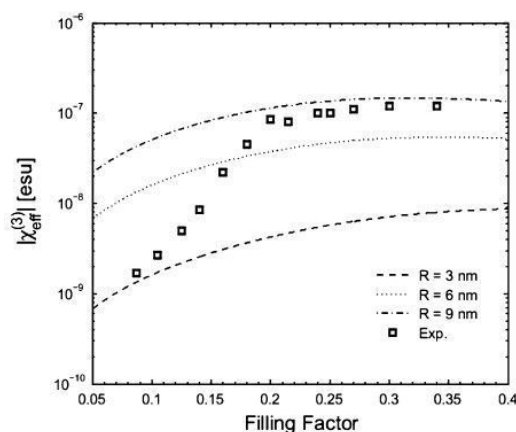


Fig 9. Dependência entre $|\chi_{\text{eff}}^{(3)}|$ e o fator de preenchimento para diferentes tamanhos de NPs. Valores experimentais de [7].

Assim, com o experimento, as amostras com elevados valores de p foram obtidos por co-pulverização de Au e SiO_2 em um sistema denominado *multitarget magnetron sputtering*. Os filmes de Au: SiO_2 foram depositados sobre um substrato de quartzo fundido em 150°C numa atmosfera de Ar. Imediatamente após a deposição, as amostras com diferentes concentrações de Au foram recozidas a 850°C durante 1 min, num forno de recozimento rápido na presença de gás Ar a 1 atm, e em seguida resfriadas num fluxo de atmosfera de Ar. O tamanho médio das NPs de ouro foi determinado utilizando os dados de difração de raios X e a equação de Scherrer. Foram esperadas NPs pequenas com tamanho inferior a 3 nm para $p < 0,25$, e para fatores de preenchimento maiores que 0,25, o tamanho das NPs de ouro ficou no intervalo de 3 a 80 nm. Aumentando o fator de preenchimento, o PRP deslocou para o vermelho devido ao aumento do tamanho das NPs de ouro [21]. Imagens de TEM dessas amostras não foram publicadas; no entanto, imagens de TEM de filmes de Au: Al_2O_3 fabricados usando a mesma técnica revela que o tamanho das NPs é semelhante para os filmes de Au: SiO_2 na mesma faixa de

concentrações [22]. Para comparação, a Fig. 9 também mostra os valores calculados de $|\chi_{\text{eff}}^{(3)}|$ para diferentes tamanhos de NPs. A partir da figura, observa-se que os valores medidos de $|\chi_{\text{eff}}^{(3)}|$ estão no intervalo de $|\chi_{\text{eff}}^{(3)}|$ calculado.

Como o modelo pode descrever a susceptibilidade NL de terceira ordem de NPs de ouro altamente concentradas, aplicações em fotônica podem ser exploradas através das figuras de mérito. Para dispositivos de comutação óptica, $T = 2\alpha_2 \lambda / n_2 < 1$ deve ser satisfeito, em que α_2 e n_2 são os coeficientes de absorção NL e de refração NL, respectivamente. As relações entre os coeficientes NL e as partes real e imaginária da susceptibilidade NL são dadas por $n_2 = \frac{3}{4\epsilon_0 n^2 c^2} \text{Re}[\chi_{\text{eff}}^{(3)}]$ e $\alpha_2 = \frac{3\omega}{2\epsilon_0 n^2 c} \text{Im}[\chi_{\text{eff}}^{(3)}]$, em que ϵ_0 é a permissividade do vácuo. Portanto, $T = 8\pi \frac{\text{Im}[\chi_{\text{eff}}^{(3)}]}{\text{Re}[\chi_{\text{eff}}^{(3)}]} < 1$ [23]. Para satisfazer essa relação, o valor de $\text{Im}[\chi_{\text{eff}}^{(3)}]$ deve estar próximo ao zero, o que pode ser observado na Fig. 6 em 532 nm quando o sinal de reversão de $\text{Im}[\chi_{\text{eff}}^{(3)}]$ é obtido para fatores de preenchimento entre 0,2 e 0,3. Para outros comprimentos de onda, é possível ajustar a curva de dispersão alterando o valor de p para obter $\text{Im}[\chi_{\text{eff}}^{(3)}] \approx 0$.

Além disso, para um dispositivo de fotônica, espera-se ter um material com elevado valor de $|\chi_{\text{eff}}^{(3)}|$ e de baixo valor de α . Assim, a figura de mérito $|\chi_{\text{eff}}^{(3)}|/\alpha$ foi calculada em 532 nm como uma função do fator de preenchimento para os diferentes tamanho de NPs, e os resultados são mostrados na Fig. 10.

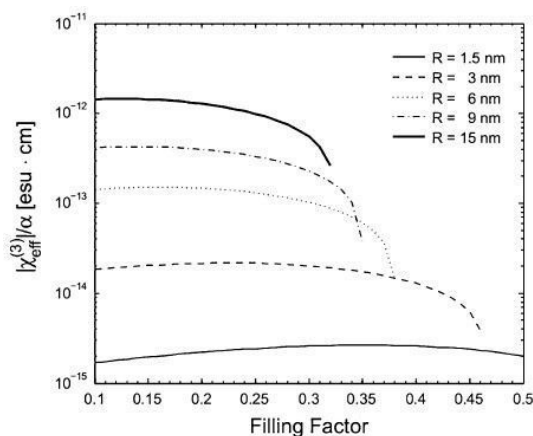


Fig 10. Dependência entre $|\chi_{\text{eff}}^{(3)}|/\alpha$ e o fator de preenchimento para diferentes tamanhos de NPs.

Resultados semelhantes foram obtidos para compósitos de Au:SiO₂ excitados com laser de picosegundo [21]. A partir da figura, observa-se que a figura de mérito pode

ser calculada até um valor limite do fator de preenchimento dependendo do tamanho das NPs. Este limite é definido pelo coeficiente de absorção linear e pelo índice de refração linear que foram calculados usando o modelo de Maxwell-Garnett.

4 Conclusão

Os cálculos das propriedades ópticas lineares usando o modelo de Maxwell-Garnett revelam o limite de aplicabilidade do modelo com base na dimensão das NPs. Para tamanhos pequenos, as propriedades ópticas lineares podem ser calculadas para fatores de preenchimento maiores do que para as grandes NPs. A susceptibilidade de terceira ordem NL calculada utilizando o modelo de Maxwell-Garnett e o modelo do gás-elétron degenerado está de acordo com os valores experimentais relatados na literatura, e prevê a reversão de sinal da resposta NL dependendo do fator de preenchimento. Para compósitos com alta concentração de NPs de ouro, os requisitos dados pelas figuras de mérito para dispositivos ópticos podem ser atendidos dependendo do fator de preenchimento e do tamanho das NPs.

Agradecimentos O apoio financeiro proveniente das agências brasileiras Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e Escola Politécnica de Pernambuco (POLI-UEPE) é reconhecido. Este trabalho foi realizado sob o Projeto PRONEX.

Referências

- [1] F. Hache, D. Ricard, C. Flytzanis, J. Opt. Soc. Am. B 3, 1647–1655 (1986)
- [2] F. Hache, D. Ricard, C. Flytzanis, U. Kreibig, Appl. Phys. A 47, 347–357 (1988)
- [3] J.B. Monteiro-Filho, L.A. Gómez-Malagón, J. Opt. Soc. Am. B 29, 1793–1798 (2012)
- [4] V.P. Drachev, A.K. Buin, H. Nakotte, V.M. Shalaev, Nano Lett. 4, 1535–1539 (2004)
- [5] S.G. Rautian, JETP 85, 451 (1997)
- [6] L.A. Gómez, C.B. de Araújo, A.M. Brito Silva, A. Galembek, Appl. Phys. B 92, 61–66 (2008)
- [7] R.A. Ganeev, M. Baba, A.I. Rysanyansky, M. Suzuki, H. Kuroda, Opt. Commun. 240, 437–448 (2004)

- [8] H.B. Liao, R.F. Xiao, J.S. Fu, H. Wang, K.S. Wong, G.K.L. Wong, *Opt. Lett.* 23, 388–390 (1998)
- [9] E.L. Falcão-Filho, C.B. de Araújo, A. Galembeck, M.M. Oliveira, A.J.G. Zarbin, *J. Opt. Soc. Am. B* 22, 2444–2449 (2005)
- [10] D.D. Smith, G. Fischer, R.W. Boyd, D.A. Gregory, *J. Opt. Soc. Am. B* 14, 1625–1631 (1997)
- [11] H.B. Liao, W. Wen, G.K.L. Wong, *Appl. Phys. A* 80, 861–864 (2005)
- [12] N. Pinc, on, B. Palpant, D. Prot, E. Charron, S. Debrus, *Eur. Phys. J. D* 19, 395–402 (2002)
- [13] R. Boyd, *Nonlinear Optics* (Academic Press, San Diego, 2008)
- [14] S. Riikonen, I. Romero, F.J. García de Abajo, *Phys. Rev. B* 71, 235104 (2005)
- [15] J.A. Fan, C. Wu, K. Bao, J. Bao, R. Bardhan, N.J. Halas, V.N. Manoharan, P. Nordlander, G. Shvets, F. Capasso, *Science* 328, 1135–1138 (2010)
- [16] R. Paniagua-Domínguez, F. López-Tejeira, R. Marque's, J.A. Sa'nchez-Gil, *New J. Phys.* 13, 123017 (2011)
- [17] Y. Takeda, O.A. Plaksin, N. Kishimoto, *Opt. Express* 15, 6010–6018 (2007)
- [18] S. Link, M.A. El-Sayed, *J. Phys. Chem. B* 103, 8410–8426 (1999)
- [19] G. Ma, W. Sun, S. Tang, H. Zhang, Z. Shen, *Opt. Lett.* 24, 1043–1045 (2002)
- [20] J.E. Sipe, R.W. Boyd, *Phys. Rev. A* 46, 1614–1629 (1992)
- [21] H.B. Liao, R.F. Xiao, J.S. Fu, P. Yu, G.K.L. Wong, P. Shen, *Appl. Phys. Lett.* 70, 1–3 (1997)
- [22] H.B. Liao, R.F. Xiao, J.S. Fu, G.K.L. Wong, *Appl. Phys. B* 65, 673–676 (1997)
- [23] V. Mizrahi, K.W. DeLong, G.I. Stegeman, M.A. Saifi, M.J. Andrejco, *Opt. Lett.* 14, 1140–1142 (1989)

Aplicação da Distribuição de Probabilidade de Weibull nos Estudos Eólicos de Pernambuco

Marinho, M. H. N.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
marinho75@poli.br

Siqueira, R. N.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
renatosiqueira@hotmail.com

Resumo

Neste trabalho, o objetivo foi estudar o potencial eólico de Pernambuco, para tal exploração, utilizou-se neste estudo a melhor distribuição estatística aplicada às ocorrências do vento na região Nordeste do Brasil, que tem sido apontada como a função de densidade de probabilidade de Weibull. Os dados de velocidade de vento (2005 a 2010) e das vazões afluentes (1931 a 2010) foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET/ 3º Distrito de Meteorologia, e ao Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. Foi feito um comparativo com um período de cheia e com um período de seca dos rios, mostrando que há uma variação significativa do período de cheia para um período de seca, na energia eólica gerada, ambos os comparativos são feitos com a vazão afluente da Usina Hidrelétrica de Sobradinho. Comprovou-se neste estudo hipotético que a variação de energia eólica gerada é mínima, pois a geração eólica no período de seca foi de aproximadamente 269 MWh/h e no período de cheia foi de 264 MWh/h.

Palavras-Chave: Complementaridade; Energia Eólica; Regime Hidrológico; Geração Hidroeólica; Distribuição de Probabilidade de Weibull

Abstract

In this work, the objective was to study the wind potential of Pernambuco, to such exploitation, was used in this study the best statistical distribution applied to instances of the wind in the Northeast region of Brazil, which has been identified as the probability density function of Weibull. The data of wind speed (2005-2010) and inflows (1931-2010) were obtained from the National Institute of Meteorology - INMET / 3rd District of Meteorology and the National Electric System Operator - ONS. A comparison was made with a full period and a period of dry rivers, showing that there is a significant variation of the full period for a period of drought, wind power generated, both comparisons are made with the inflow of Plant hydroelectric Sobradinho. It was proved in this case study that the variation of wind power generated is minimal since the wind generation during the dry period was approximately 269 MWh/h during the flooding was 264 MWh/h.

Keywords: Complementary, Wind Energy, Hydrological Regime; Generation Hidroeólica; Weibull Probability Distribution.

1 Introdução

A energia armazenada nos reservatórios das usinas hidrelétricas para o planejamento de longo e médio prazo é discretizada mensal ou semanalmente nos horizontes de estudo e apresenta variações, devido à disponibilidade hídrica natural, apresenta flutuações sazonais com amplitude significativa. Os períodos secos requerem estratégias de otimização da gestão dos reservatórios para evitar racionamentos de energia com fontes de energia renováveis (MARINHO, 2012).

A energia eólica pode contribuir de forma relevante para resolver o grande dilema do uso da água dos rios nordestinos (água para gerar eletricidade versus água para irrigação/abastecimento), pois se percebe que as maiores velocidades de vento no nordeste do Brasil ocorrem justamente quando o fluxo de água dos rios é mínimo, foi feito um comparativo com um período de cheia e com um período de seca, mostrando que há uma variação significativa do período de cheia para um período de seca na variação de energia eólica gerada, ambos os comparativos são feitos com a vazão afluente da Usina Hidrelétrica de Sobradinho. As centrais eólicas hipotéticas neste estudo foram Triunfo, Surubim, Recife, Ouricuri, Pesqueira, Petrolina, Garanhuns, Cabrobó e Arcoverde, instaladas no estado de Pernambuco no nordeste do Brasil, elas poderão produzir grandes quantidades de energia elétrica evitando que se tenha que utilizar a água dos rios, principalmente no período de seca.

Os dados de velocidade de vento de 2005 a 2012 das estações meteorológicas foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET/ 3º Distritos de Meteorologia - DISME. Utilizaram-se as vazões afluentes médias mensais da série histórica de 74 anos (1931 a 2010) do posto hidrológico da usina hidrelétrica de Sobradinho.

Na tentativa estudar o potencial eólico de Pernambuco, foi escolhida a distribuição de probabilidade de Weibull, segundo MARINHO et al. (2006) e MARINHO e AQUINO (2009) que comprovaram com estudos hipotéticos. Comparando-a com a distribuição Rayleigh também utilizada em estudos eólicos, segundo Bernardo et al. (2002), Na Arábia Saudita, Sahin & Aksakal (1998) usaram as distribuições de Weibull e Rayleigh para avaliar o desempenho de um sistema eólico e concluíram que os resultados alcançados com os dados experimentais se aproximaram melhor daqueles gerados com o modelo de Weibull, com erro relativo de apenas 3,46%.

A partir dos dados de velocidade de vento se obteve a velocidade de vento para torres instaladas hipoteticamente nas 9 (nove) centrais eólicas citadas, a 85, 98 e 120 metros de altura. Para as devidas simulações foi utilizada a curva de potência do aerogerador da ENERCON E-92 2.3 MW.

Estas etapas de simulação foram realizadas com o auxílio de ferramentas computacionais, tais como: MATLAB (2010) e Microsoft Office Excel 2007.

No presente trabalho foram desenvolvidos cálculos utilizando a distribuição de Weibull que modelam a velocidade de vento de acordo com as características locais, essa modelagem depende de dois parâmetros que são k (de forma) e c (de escala), assim possibilitando obter a energia eólica gerada hipoteticamente para as alturas estabelecidas. Desta forma, é possível utilizar os resultados destas previsões para programar soluções para os períodos secos que requerem estratégias de otimização da gestão dos reservatórios, utilizando a vazão economizada pela geração eólica principalmente em períodos de seca, para que se possam evitar como, por exemplo, racionamentos.

2 Distribuição de Probabilidade de Weibull nos Estudos Eólicos

As primeiras aplicações da distribuição de Weibull em estudos eólicos se restringiam à representação da distribuição de velocidades em análises dos carregamentos de vento [Danvenport, 1963]. Treze anos após, foi constatado que para a maioria das ocorrências de vento a distribuição de Weibull fornece um bom ajuste [Justus et al., 1976] [Hennessey, 1977].

Em particular, Hennessey examinou as propriedades da distribuição de Weibull em seus detalhes e constatou que existe uma forte relação entre os momentos da velocidade de vento e os parâmetros k e c . Notou, ainda, que os mínimos parâmetros estatísticos requeridos para se estimar o potencial energético do vento são a velocidade média e o desvio padrão da série temporal.

2.1 Estilos

A função densidade de probabilidade do método de Weibull é um caso especial da distribuição de Pearson tipo III ou da função de distribuição de Gama generalizada com dois parâmetros. Se uma distribuição de vento pode ser representada pela função de densidade de probabilidade de Weibull, ROHATGI e NELSON (1994), ela então é regida pela seguinte equação:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (1)$$

Onde $k > 0$, $c > 0$ e $v > 0$ em que k é o parâmetro de fator de forma, c é chamado de fator de escala e v é a velocidade de vento. A função do MS Excel 2007 que representa Eq.(1) é: =WEIBULL(x, alfa, beta, cumulativo), onde x é a velocidade v , **alfa** é k e **beta** c , **cumulativo** é um valor booleano que pode ser **FALSE** (falso) que se

refere a Eq.(1) ou **TRUE** (verdadeiro) que se refere a distribuição cumulativa Weibull que não é utilizada no presente trabalho.

O valor médio das velocidades dos ventos de um local com as características de Weibull é expresso pela seguinte equação:

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v \cdot \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} dv \quad (2)$$

em que se usando a função gama, o valor médio da velocidade de vento pode ser encontrado de modo simplificado através da equação:

$$\bar{v} = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (3)$$

em que Γ é função gama.

Existem diversos métodos disponíveis para se determinar os valores dos parâmetros de k e c a partir dos dados de vento medidos em um local.

Os parâmetros de distribuição de Weibull foram calculados utilizando o Método da Velocidade Média e Desvio Padrão. Considerando os valores da velocidade média, calculada para as alturas de 85, 98 e 120 metros de altura, a partir dos dados de velocidade de vento de 2005 a 2012 das estações meteorológicas medidas à 10 metros de altura de 9 (nove) estações anemométricas, pela equação empírica GIPE (1993) e LYSSEN (1982):

$$v(h) = v_1 \left(\frac{h}{h_1}\right)^{\alpha} \quad (4)$$

em que:

v_1 – velocidade na altura h_1 (conhecida),

$v(h)$ – velocidade na altura h ,

h – altura para velocidade $v(h)$,

h_1 – altura da velocidade v_1 ,

α – coeficiente dependente da natureza do terreno.

O desvio padrão foi obtido pela função do MS Excel 2007 =DESPAD(núm1;núm2,...), a partir dos dados de velocidade de vento de 2005 a 2012 das estações meteorológicas medidas a 10 metros de altura de 9 (nove) estações anemométricas.

Considerando os valores da velocidade média e desvio padrão. O valor de k pode ser obtido a partir de cálculo direto, segundo (CIEMAT, 2002), que se baseia em experimentos empíricos. Em que (GUSTAVO, 2003):

- Para vento de baixa variabilidade ($\sigma/v(h) \approx 0,1$): $k = 1.05 \cdot \sqrt{v(h)}$ (5)

- Para vento de baixa variabilidade ($\sigma/v(h) \approx 0,5$): $k = 0.94 \cdot \sqrt{v(h)}$ (6)

- Para vento de baixa variabilidade ($\sigma/v(h) \approx 0,9$): $k = 0.83 \cdot \sqrt{v(h)}$ (7)

onde σ é o desvio padrão.

O valor de c pode ser obtido diretamente pela equação:

$$c = \frac{v(h)}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)} \quad (8)$$

2.2 Geração Eólica

O principal foco da simulação do potencial eólico reside na necessidade de se estimar qual a potência média suprida pelas turbinas eólicas durante um mês normal de operação. Desta maneira, a seguir indicamos a forma pela qual encontramos o potencial.

A potência convertida por uma turbina eólica pode ser expressa através da equação:

$$P_{Turbina} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p(\lambda, \theta) \quad (9)$$

em que v é a velocidade de vento, A é a área varrida pelas pás em m^2 , ρ é a densidade do ar em kg/m^3 , $C_p(\lambda, \theta)$ é o coeficiente de potência, um parâmetro que pode ser calculado ou estimado para uma turbina eólica com base na eficiência da conversão eólica e eletromecânica, finalmente, $P_{turbina}$ é a potência elétrica instantânea fornecida por uma turbina eólica em watts.

A Eq. (9) revela que a potência disponível é fortemente dependente da velocidade do vento: quando esta duplica, a potência aumenta oito vezes, mas duplicando a área varrida pelas pás da turbina, o aumento é só de duas vezes. Por outro lado, se a velocidade do vento desce para metade, a potência reduz-se a 12,5%. Tudo isto explica a importância crítica da colocação das turbinas em locais com velocidades do vento elevadas no sucesso econômico dos projetos de energia eólica.

Quanto mais baixa a temperatura, mais moléculas de ar existem por metro cúbico. Por isso, o potencial eólico é maior quando a densidade do ar é maior, ou seja, quando está mais frio.

A densidade do ar ρ varia de acordo com a altitude (pois tem uma relação com a pressão atmosférica) e com a temperatura do ar, deste modo a potência convertida por uma turbina eólica depende linearmente com a densidade

do ar. A densidade do se relaciona com a pressão e com a temperatura conforme a equação seguinte:

$$\rho = 1.2929 \cdot \frac{P_{Local}}{760} \cdot \frac{273}{T_{Local}} \quad (10)$$

em que P_{Local} é a pressão atmosférica em milímetros de mercúrio no local de instalação e T_{Local} é a temperatura local em Kelvin.

Verifica-se também que a potência convertida por uma turbina eólica também depende da velocidade do vento, neste caso com uma relação cúbica. Desta maneira a simples aplicação da velocidade média do vento nas equações conduz a um valor de potência média produzida pela turbina eólica muito inferior ao real.

Considerando que a potência de uma a turbina eólica também pode ser expressa pela Curva de Potência CP da mesma a equação da potência gerada por uma turbina eólica se torna mais simples. A curva CP já integra todas as funções apresentadas acima sendo ela medida em turbinas eólicas em condições de testes padrão o que demanda um fator de correção conforme indicado na equação a seguir:

$$P_{Turbina} = fd \cdot CP(v) \quad (11)$$

em que fd é um fator de correção para levar em consideração as variações da densidade do ar para diferentes alturas e temperaturas uma vez que as curvas de potência são calculadas para condições padrões, i.e. ao nível do mar e 15°C e $CP(v)$ é a curva de potência da turbina eólica medida em condições padrões.

A potência elétrica média gerada por uma turbina eólica pode ser calculada através da seguinte equação:

$$P_{média} = \int P_{Turbina}(v) \cdot f(v) dv \quad (12)$$

em que $P_{Turbina}(v)$ é a curva de potência da turbina eólica corrigida para o local como função do vento, $f(v)$ é a função de densidade de probabilidade de vento neste caso de Weibull. Considerando a curva de potência de uma turbina eólica como sendo em pu (normalizada em relação a sua potência nominal), a potência média pode ser indicada como um valor em pu diretamente através da integração da Eq. (12).

O atrito entre a superfície terrestre e o vento tem como consequência um retardamento deste último. As camadas mais baixas de ar retardam as que lhe estão por cima, resultando numa variação da velocidade média do vento com a altura ao solo. O efeito da força de atrito vai-se desvanecendo até praticamente se anular a uma altura de aproximadamente 2.000 metros.

No solo, a condição fronteira obriga a que a velocidade do escoamento seja nula. A esta zona da atmosfera caracterizada pela variação da velocidade do vento com a altura, chama-se camada limite atmosférica; acima desta zona diz-se que a atmosfera é livre.

A figura 1 mostra a representação da curva do aerogerador da ENERCON E-92 2.3 MW e a tabela 1 mostra a curva de potência do aerogerador.

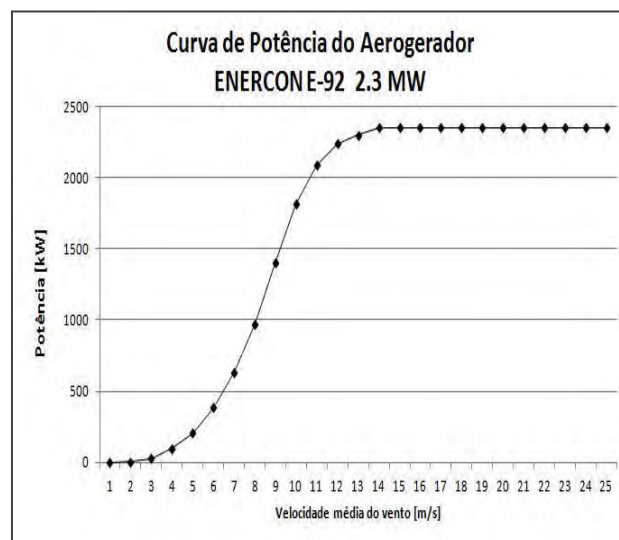


Figura 1 – Curva de Potência do Aerogerador.

Tabela 1 – Curva de Potência do Aerogerador ENERCON E-92 2.3 MW

v (m/s)	Potência (kW)
1,00	0
2,00	3,6
3,00	29,9
4,00	98,2
5,00	208,3
6,00	384,3
7,00	637,0
8,00	975,8
9,00	1403,6
10,00	1817,8
11,00	2088,7
12,00	2237
13,00	2300
14,00	2350
15,00	2350
16,00	2350

17,00	2350
18,00	2350
19,00	2350
20,00	2350
21,00	2350
22,00	2350
23,00	2350
24,00	2350
25,00	2350

FONTE: ENERCON, Energy for the World, 2011.

A energia anual esperada para cada aerogerador é determinada através da sequência de cálculos apresentada a seguir:

1. Utilizaram-se as velocidades médias mensais do período de janeiro de 2005 a dezembro de 2010 medidos à 10 metros de altura de 9 (nove) estações anemométricas em municípios do Estado de Pernambuco na região Nordeste do Brasil, essas velocidades são modeladas pela eq. (4) para as alturas de 85, 98 e 120 metros, para as torres eólicas hipotéticas;
2. A partir destes valores modelados é calculado o parâmetro k mensal eq. (5), (6) e (7) a escolha da equação adequada entre as três para o cálculo de k dependeu da variabilidade da velocidade do vento obtida pela equação $\sigma/v(h)$, onde σ é o desvio padrão das velocidades médias mensais e $v(h)$ é a velocidade modelada por eq. (4), devendo-se respeitar as condições citadas anteriormente no presente trabalho. O parâmetro c mensal é calculado pela eq. (8);
3. A frequência calculada pela distribuição de Weibull é obtida por eq. (1) para os valores de k , c e v , onde v é a velocidade fornecida pelo fabricante do aerogerador a ser testada;
4. O valor da energia esperada (E_e) é calculado pela equação:

$$E_e = f(v) \cdot n \cdot P_{Turbina} \cdot \frac{m_{ar\ local}}{m_{ar\ padrão}} \quad (13)$$

Onde $f(v)$ é a frequência da distribuição de Weibull, n é número de horas, $P_{Turbina}$ é a potência [kW] do vento “aproveitada” pelo aerogerador (valores fornecidos pelo fabricante – Tabela 1), $m_{ar\ local}$ é massa específica do ar local l em kg/m^3 e $m_{ar\ padrão}$ é a massa específica do ar padrão em kg/m^3 . Pode-se usar a função do MS Excel 2007 =WEIBULL(x,alfa,beta,FALSE)*n

* $P_{Turbina}$ * $m_{ar\ local} / m_{ar\ padrão}$, onde x é a velocidade v , **alfa** é k e **beta** c ;

5. O somatório dos valores representa a energia total esperada $E_{ea(Total)}$ em kWh durante o ano.

3 Estudo de Caso

A área do Nordeste brasileiro é de aproximadamente 1.558.196 km², equivalente a 18% do território nacional e é a região que possui a maior costa litorânea. Está situado entre os paralelos de 01° 02' 30" de latitude norte e 18° 20' 07" de latitude sul e entre os meridianos de 34° 47' 30" e 48° 45' 24" a oeste do meridiano de Greenwich. Limita-se a norte e a leste com o Oceano Atlântico; ao sul com os estados de Minas Gerais e Espírito Santo e a oeste com os estados do Pará, Tocantins e Goiás.

O Nordeste possui importantes bacias hidrográficas, dentre as quais podemos destacar a Bacia do São Francisco. É a principal da região, formada pelos rios São Francisco e seus afluentes. São praticadas atividades de pesca, navegação e produção de energia elétrica pelas hidrelétricas de Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Paulo Afonso, Apolonio Sales e Xingó, delimita as divisas naturais de Bahia com Pernambuco e também de Sergipe e Alagoas, que é onde está localizada sua foz.

O Estado de Pernambuco é uma das unidades da Federação brasileira localizada na região Nordeste, ocupa uma área de 98.146 km². Esse espaço geográfico abrange diversas paisagens, constituídas a partir da interação entre os elementos naturais, sendo que os principais são: relevo, clima, vegetação e hidrografia.

O relevo do estado é formado basicamente por três tipos: planície costeira, planalto e depressão. Grande parte do território estadual, cerca de 76%, possui um relevo relativamente plano, não ultrapassa os 600 metros de altitude. As planícies se encontram em áreas próximas ao litoral. À medida que se afasta do litoral a altitude aumenta, pode atingir até 1.200 metros.

Em Pernambuco são identificadas duas características climáticas: o clima tropical e o semiárido. O clima tropical ocorre nas áreas litorâneas denominadas de zona da mata. A temperatura é elevada, a média anual é de 24°C. Quanto aos índices pluviométricos, a média anual é de 1.500 mm. Nas áreas que predominam o clima semiárido as temperaturas são elevadas em boa parte do ano (cerca de 26°) e a quantidade de chuva é reduzida, algo em torno de 600 mm ao ano.

A hidrografia pernambucana é formada por vários rios, mas, sem dúvida, o principal é o São Francisco, uma vez

que o mesmo é fundamental para a irrigação e demais atividades do sertanejo nordestino. Existem ainda os rios: Capibaribe, Ipojuca, Una, Pajeú e Jaboatão.

O regime de ventos da região Nordeste do Brasil está relacionado ao movimento latitudinal do Centro de Alta Pressão do Atlântico Sul. Segundo LIRA (1987), o sistema de circulação costeira no litoral de Pernambuco é regulado pela direção e pela intensidade dos ventos.

Quanto à sazonalidade dos ventos, todo o Nordeste apresenta ventos máximos no segundo semestre (inverno e primavera).

Utilizaram-se as vazões afluentes médias mensais da série histórica de 74 anos (1931 a 2010) do posto hidrológico da usina hidrelétrica de Sobradinho, em ONS (2011). Verifica-se uma das grandes dificuldades nas séries de vazões, que é a presença da sazonalidade devido aos períodos de cheia e seca do ano, isto acontece devido a grande variabilidade existente no período úmido, correspondente de novembro a abril, conforme Figura 2 e 3.



Figura 2 – Vazão Afluente de Sobradinho em m^3/s , 2010, período seco.



Figura 3 – Vazão Afluente de Sobradinho m^3/s , 2009, período de cheia.

Utilizaram-se as velocidades médias mensais do período de janeiro de 2005 a dezembro de 2010 medidos a 10 metros de altura de 9 (nove) estações anemométricas em municípios do Estado de Pernambuco na região Nordeste do Brasil, juntamente com a curva de potência do aerogerador da ENERCON E-92 2.3 MW, conforme a Figura 1. As torres foram hipoteticamente instaladas com 85, 98 e 120 metros de altura, que serviu de base para a concepção das fazendas eólicas hipotética, num arranjo com 456 aerogeradores instalados nas estações anemométricas potência instalada de 1050 MW equivalente à potência instalada na Usina Hidrelétrica de Sobradinho.

A Tabela 2 e 3 mostram a velocidade média mensal em m/s a 85,98 e 120 metros de altura e altitude, de cada estação anemométrica, no ano de 2009 e 2010:

Estação	V_{85}	V_{98}	V_{120}	Altitude (m)
Arcoverde	6,35	6,63	7,04	680,70
Cabrobó	7,13	7,74	7,90	341,46
Garanhuns	5,95	6,21	6,60	822,76
Ouricuri	5,48	5,72	6,08	459,28
Pesqueira	5,24	5,47	5,81	639,00
Petrolina	5,12	5,34	5,67	370,46
Recife	3,82	3,98	4,23	10,00
Surubim	6,52	6,81	7,24	418,32
Triunfo	7,95	8,30	8,82	1105,00

Tabela 2 – Velocidade Média Mensal para 85, 98 e 120 metros de altura.

Estação	V_{85}	V_{98}	V_{120}	Altitude (m)
Arcoverde	6,48	6,76	7,04	680,70
Cabrobó	6,78	7,07	7,52	341,46
Garanhuns	5,75	6,00	6,37	822,76
Ouricuri	5,50	5,73	6,09	459,28
Pesqueira	4,48	5,09	5,41	639,00
Petrolina	5,51	5,75	6,11	370,46
Recife	3,97	4,15	4,41	10,00
Surubim	6,76	7,06	7,50	418,32
Triunfo	8,68	9,06	9,62	1105,00

Tabela 3 – Velocidade Média Mensal para 85, 98 e 120 metros de altura.

Os valores dos parâmetros k e c da distribuição de Weibull foram obtidos mensalmente da Eq. (5), (6) e (7) (satisfeitas às condições citadas sobre variabilidade que em foi em média menor que 0,1) e Eq. (8), respectivamente, e para a simulação da produtividade eólica anual se converteu através da Eq. (9) a velocidade média mensal do vento com coeficiente de rugosidade de 0,30 (Pequenas

idades com poucas árvores e arbustos) para as nove localidades na altura de 85, 98 e 120 metros de altura, massa específica do ar local de $1,078 \text{ kg/m}^3$ e massa específica do ar padrão de $1,235 \text{ kg/m}^3$, a energia eólica.

A Figura 3, 4 e 5 mostram a curva da média mensal da velocidade do vento de todas as estações anemométrica para o ano de 2009, a 85, 98 e 120 metros de altura.

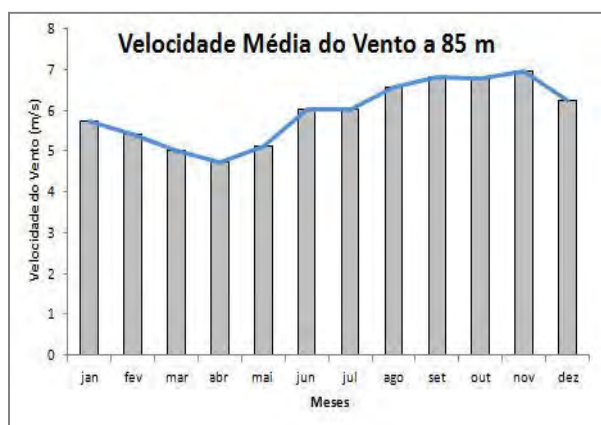


Figura 3 - Média Mensal da Velocidade do Vento das Estações Estudadas.

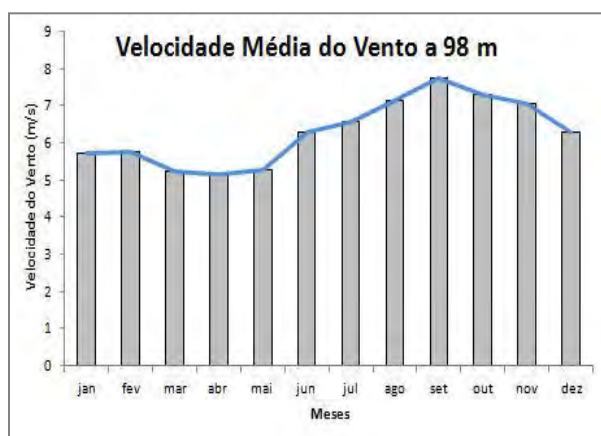


Figura 4 - Média Mensal da Velocidade do Vento das Estações Estudadas.

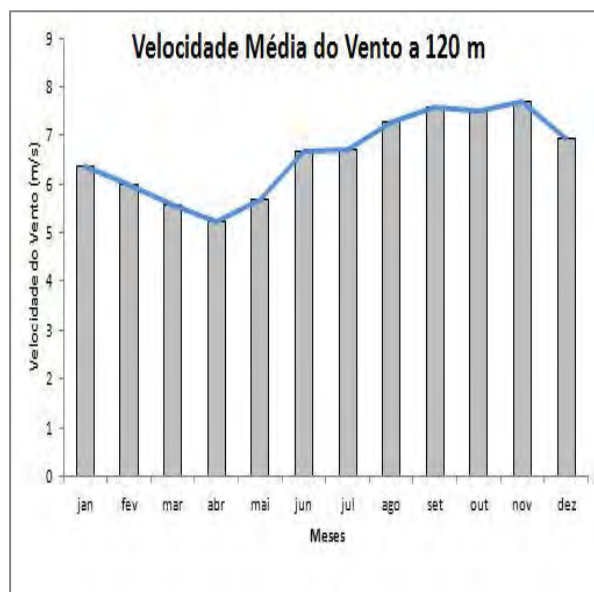


Figura 4 - Média Mensal da Velocidade do Vento das Estações Estudadas.

A Figura 6, 7 e 8 mostram a curva da média mensal da velocidade do vento de todas as estações anemométrica para o ano de 2010, a 85, 98 e 120 metros de altura.

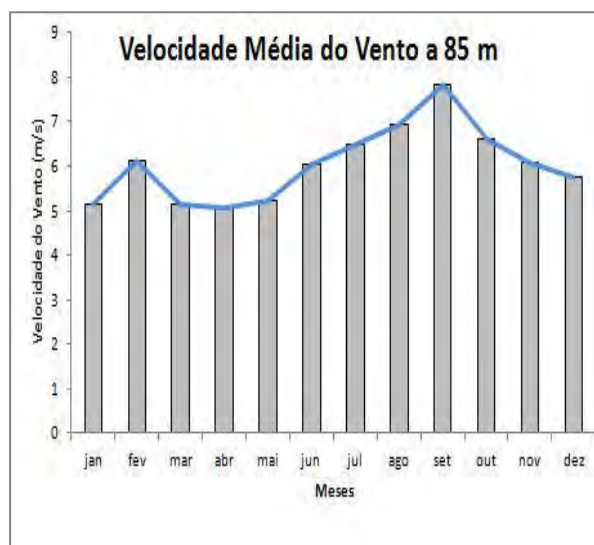


Figura 6 - Média Mensal da Velocidade do Vento das Estações Estudadas.

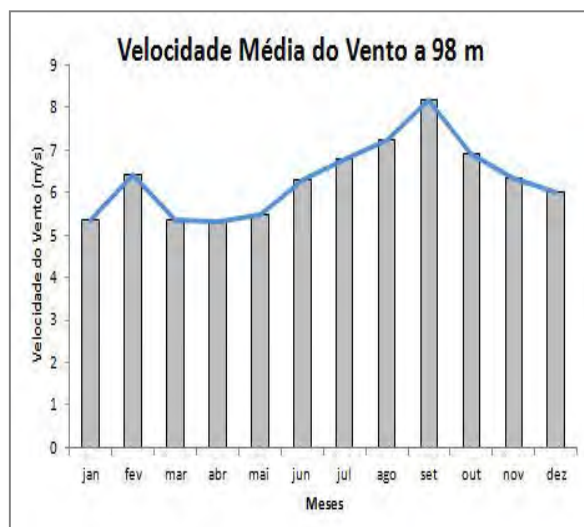


Figura 7 - Média Mensal da Velocidade do Vento das Estações Estudadas.

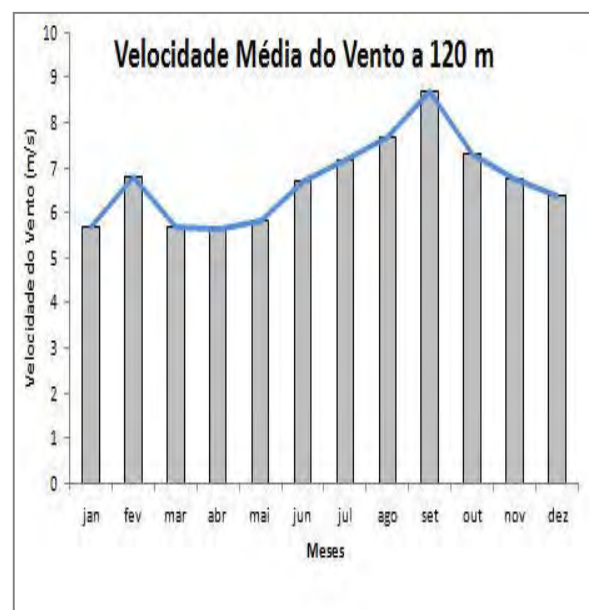


Figura 8 - Média Mensal da Velocidade do Vento das Estações Estudadas.

4 Resultados e Discussão

As Tabelas a seguir mostram os resultados obtidos pelos cálculos energéticos para cada altura no ano de 2009, em um período de cheia, ver vazão afluyente Figura 2.

Meses / Parques a 85 m	Triunfo	Surubim	Recife	Petrolina	Pesqueira	Cabrobo	Ouricuri	Arcoverde	Garanhuns	Média (MW médio)
JAN	310,576	254,558	154,768	169,901	140,336	310,576	219,096	140,336	185,696	209,538
FEV	254,558	310,576	69,714	101,516	169,901	202,111	169,901	272,917	113,688	184,987
MAR	310,576	219,096	60,680	90,128	169,901	185,696	79,528	169,901	113,688	155,466
ABR	254,558	272,917	14,016	90,128	154,768	113,688	113,688	154,768	79,528	138,673
MAI	407,201	154,768	14,016	185,696	113,688	236,597	169,901	185,696	79,528	171,899
JUN	618,717	219,096	44,889	185,696	140,336	310,576	310,576	236,597	126,634	243,680
JUL	633,634	202,111	44,889	219,096	154,768	464,435	219,096	219,096	79,528	248,517
AGO	661,963	272,917	90,128	272,917	154,768	554,261	291,611	202,111	113,688	290,485
SET	464,435	310,576	101,516	202,111	185,696	571,065	202,111	329,746	464,435	314,632
OUT	349,037	387,846	101,516	126,634	185,696	387,846	140,336	445,548	675,368	311,094
NOV	329,746	464,435	154,768	140,336	202,111	426,544	202,111	519,402	501,403	326,752
DEZ	407,201	310,576	113,688	113,688	202,111	349,037	140,336	329,746	387,846	261,583
Média Anual (MW médio)	416,882	281,623	80,382	158,154	164,507	342,697	188,191	267,185	243,419	

Tabela 4 – Cálculos Energéticos para Parques que Torres de 85 metros de Altura, no ano de 2009, período de cheia.

Meses / Parques a 98 m	Triunfo	Surubim	Recife	Petrolina	Pesqueira	Cabrobo	Ouricuri	Arcoverde	Garanhuns	Média
JAN	340,746	281,094	172,661	189,278	156,738	340,746	242,874	156,738	206,538	231,941
FEV	281,094	340,746	76,232	113,729	189,278	224,444	189,278	300,743	127,260	204,978
MAR	340,746	242,874	68,112	101,041	189,278	206,538	89,207	189,278	127,260	172,706
ABR	281,094	300,743	15,676	101,041	172,661	127,260	127,260	172,661	89,207	154,178
MAI	441,524	172,661	15,676	206,538	127,260	261,781	189,278	206,538	89,207	190,056
JUN	632,443	242,874	50,395	206,538	156,738	340,746	340,746	261,781	141,612	265,990
JUL	666,786	224,444	50,395	242,874	172,661	499,934	242,874	242,874	89,207	270,228
AGO	693,816	300,743	101,041	300,743	172,661	589,630	320,631	224,444	127,260	314,574
SET	499,934	340,746	113,729	224,444	206,538	606,134	224,444	360,954	499,934	341,875
OUT	381,204	421,553	113,729	141,612	206,538	421,553	156,738	480,766	706,509	336,693
NOV	360,954	499,934	172,661	156,738	224,444	461,279	224,444	555,114	537,145	354,748
DEZ	441,524	340,746	127,260	127,260	224,444	381,204	156,738	360,954	421,553	286,856
Média Anual (MW médio)	448,489	309,096	89,964	175,991	183,276	371,772	208,714	292,740	263,559	

Tabela 5 – Cálculos Energéticos para Parques que Torres de 98 metros de Altura, no ano de 2009, período de cheia.

Meses / Parques a 120 m	Triunfo	Surubim	Recife	Petrolina	Pesqueira	Cabrobo	Ouricuri	Arcoverde	Garanhuns	Média
JAN	386,367	321,996	201,156	219,990	183,027	386,367	279,962	183,027	239,456	266,816
FEV	321,996	386,367	92,118	133,485	219,990	259,474	219,990	343,364	149,139	236,214
MAR	386,367	279,962	80,255	118,747	219,990	239,456	104,952	219,990	149,139	199,873
ABR	321,996	343,364	18,402	118,747	201,156	149,139	149,139	201,156	104,952	178,672
MAI	491,701	201,156	18,402	239,456	149,139	300,832	219,990	239,456	104,952	218,343
JUN	697,937	279,962	59,415	239,456	183,027	386,367	300,832	185,669	299,892	302,981
JUL	711,222	259,474	59,415	279,962	201,156	550,775	279,962	279,962	104,952	302,981
AGO	735,978	343,364	118,747	343,364	201,156	658,601	364,850	259,474	149,139	358,519
SET	550,775	386,367	133,485	259,474	239,456	654,369	259,474	407,834	550,775	382,445
OUT	429,171	471,169	133,485	165,669	239,456	471,169	183,027	551,550	747,472	374,685
NOV	407,834	550,775	201,156	183,027	259,474	511,844	259,474	695,225	587,640	386,272
DEZ	491,701	386,367	149,139	149,139	259,474	429,171	183,027	407,834	471,169	325,234
Média Anual (MW médio)	494,420	350,860	105,431	204,210	213,042	414,797	240,851	331,642	293,704	

Tabela 6 – Cálculos Energéticos para Parques que Torres de 120 metros de Altura, no ano de 2009, período de cheia.

As Tabelas a seguir mostram os resultados obtidos pelos cálculos energéticos para cada altura no ano de 2010, em um período de seca, ver vazão afluyente Figura 1.

Meses / Parques a 85 m	Triunfo	Surubim	Recife	Petrolina	Pesqueira	Cabrobo	Ouricuri	Arcoverde	Garanhuns	Média (MW médio)
JAN	272,917	169,901	32,410	140,336	154,768	254,558	79,528	236,597	113,688	165,816
FEV	368,444	368,444	79,528	154,768	140,336	483,068	169,901	140,336	368,444	232,585
MAR	272,917	254,558	60,680	140,336	140,336	185,696	90,128	140,336	169,901	161,654
ABR	445,548	202,111	32,410	169,901	101,516	113,688	113,688	101,516	154,768	161,654
MAI	415,548	254,558	36,094	169,901	113,688	113,688	254,558	101,516	178,360	178,360
JUN	688,267	236,597	44,889	202,111	101,516	236,597	236,597	349,037	113,688	245,480
JUL	700,662	236,597	60,680	236,597	126,634	349,037	349,037	391,611	185,696	281,844
AGO	764,799	368,444	79,528	291,611	126,634	368,444	368,444	349,037	154,768	319,081
SET	734,875	407,201	154,768	310,576	154,768	734,875	387,846	407,201	391,611	388,194
OUT	501,403	387,846	126,634	185,696	169,901	501,403	185,696	329,746	254,558	295,654
NOV	219,096	407,201	140,336	154,768	169,901	169,901	169,901	445,548	329,746	242,474
DEZ	272,917	368,444	113,688	113,688	154,768	169,901	90,128	329,746	329,746	215,892
Média Anual (MW médio)	473,949	305,159	83,637	189,191	136,636	306,740	196,217	281,276	214,011	

Tabela 7 – Cálculos Energéticos para Parques que Torres de 85 metros de Altura, no ano de 2010, período de seca.

Meses / Parques a 98 m	Trinão	Surubim	Recife	Petrolina	Pesqueira	Cabrobó	Oiticuri	Arcoverde	Garanhuns	Média (MW médio)
JAN	300,743	189,278	58,839	156,758	172,661	281,094	89,207	261,781	127,260	181,958
FEV	401,425	401,425	89,207	172,661	156,758	518,740	189,278	156,758	401,425	276,409
MAR	300,743	281,094	68,112	156,758	156,758	206,558	101,041	156,758	189,278	179,678
ABR	480,766	224,444	58,839	189,278	113,729	127,260	127,260	113,729	172,661	178,663
MAI	480,766	281,094	42,761	189,278	127,260	127,260	281,094	113,729	196,722	
JUN	718,660	261,781	50,395	224,444	113,729	261,781	261,781	381,204	127,260	266,782
JUL	730,279	261,781	68,112	261,781	141,612	381,204	381,204	320,651	206,558	365,909
AGO	789,386	401,425	89,207	320,651	141,612	401,425	401,425	381,204	172,661	344,333
SET	762,034	441,524	172,661	340,746	172,661	762,034	421,553	441,524	320,651	426,154
OUT	537,145	421,553	141,612	206,558	189,278	537,145	206,558	360,954	281,094	320,211
NOV	242,874	441,524	156,758	172,661	189,278	189,278	480,766	360,954	267,417	
DEZ	300,743	401,425	127,260	172,661	189,278	101,041	360,954	360,954		237,953
Média Anual (MW médio)	503,797	334,029	93,647	209,903	152,615	331,921	216,407	308,115	236,207	

Tabela 8 – Cálculos Energéticos para Parques que Torres de 98 metros de Altura, no ano de 2010, período de seca.

Meses / Parques a 120 m	Trinão	Surubim	Recife	Petrolina	Pesqueira	Cabrobó	Oiticuri	Arcoverde	Garanhuns	Média (MW médio)
JAN	343,364	219,990	69,356	183,027	201,156	321,996	104,952	300,832	149,139	210,423
FEV	450,305	450,305	104,952	201,156	183,027	569,482	219,990	183,027	450,305	312,505
MAR	343,364	321,996	80,253	183,027	183,027	239,456	118,747	183,027	219,990	200,099
ABR	531,550	259,474	69,356	219,990	133,485	149,139	149,139	133,485	201,156	205,197
MAI	531,550	321,996	50,414	219,990	149,139	149,139	321,996	133,485	225,205	
JUN	758,394	300,832	59,415	259,474	133,485	300,832	300,832	429,171	149,139	299,064
JUL	768,758	300,832	80,253	300,832	165,669	429,171	429,171	364,850	239,456	342,110
AGO	820,053	450,305	104,952	364,850	165,669	450,305	429,171	201,156	381,863	
SET	796,652	491,701	201,156	386,367	201,156	796,652	471,169	491,701	364,850	466,823
OUT	587,640	471,169	165,669	239,456	219,990	587,640	239,456	407,834	321,996	360,094
NOV	279,962	491,701	183,027	201,156	219,990	219,990	531,550	407,834	304,041	
DEZ	343,364	450,305	149,139	149,139	201,156	219,990	118,747	407,834	407,834	271,945
Média Anual (MW médio)	546,246	377,550	109,828	242,372	178,176	369,483	247,636	348,706	270,528	

Tabela 9 – Cálculos Energéticos para Parques que Torres de 120 metros de Altura, no ano de 2010, período de seca.

A partir destes resultados da geração eólica dos parques hipotéticos, obtidos por métodos aqui citados, e de posse das vazões mensais naturais do posto hidrológico da Usina de Sobradinho, especificamente para o ano de 2009 (cheia) e 2010 (seca) que foram períodos em que há variação significativa no período de 2005 a 2012, ou seja, o período de 2009 houve a maior cheia e 2010 o período de maior seca, e juntamente baseado na informação de PORTO et al. (2002) a produtividade na cascata do São Francisco onde cada 100 MW médios produzidos de fonte eólica proporcionaria uma economia de água da ordem de 40 m³/s, foram obtidos os seguintes resultados, referentes a economia na vazão afluente média como mostram as Tabelas:

ECONOMIA EM m ³ /s PARA GERAÇÃO EÓLICA A 85 m de ALTURA			
Meses	VAZÃO (m ³ /s) Sobradinho	VAZÃO (m ³ /s) Economizada	Perc(%)
JAN	5409	84	1,55
FEV	5072	74	1,46
MAR	3542	62	1,76
ABR	4254	55	1,30
MAI	2410	69	2,85
JUN	1492	97	6,53
JUL	1236	99	8,04
AGO	976	116	11,90
SET	1019	126	12,35
OUT	1393	124	8,93
NOV	2534	131	5,16
DEZ	2730	105	3,83
	Média = 2672	Soma = 1143	Média = 5,47

Tabela 10 - Vazão Economizada no Período de Cheia (2009).

ECONOMIA EM m ³ /s PARA GERAÇÃO EÓLICA A 98 m de ALTURA			
Meses	VAZÃO (m ³ /s) Sobradinho	VAZÃO (m ³ /s) Economizada	Perc(%)
JAN	5409	93	1,72
FEV	5072	82	1,62
MAR	3542	69	1,95
ABR	4254	62	1,45
MAI	2410	76	3,15
JUN	1492	106	7,13
JUL	1236	108	8,74
AGO	976	126	12,89
SET	1019	137	13,42
OUT	1393	135	9,67
NOV	2534	142	5,60
DEZ	2730	115	4,20
	Média = 2672	Soma = 1250	Média = 5,96

Tabela 11 - Vazão Economizada no Período de Cheia (2009).

ECONOMIA EM m³/s PARA GERAÇÃO EÓLICA A 120 m de ALTURA			
Meses	VAZÃO (m³/s) Sobradinho	VAZÃO (m³/s) Economizada	Perc(%)
JAN	5409	107	1,97
FEV	5072	94	1,86
MAR	3542	80	2,26
ABR	4254	71	1,68
MAI	2410	87	3,62
JUN	1492	120	8,04
JUL	1236	121	9,80
AGO	976	140	14,36
SET	1019	153	15,01
OUT	1393	150	10,76
NOV	2534	159	6,25
DEZ	2730	130	4,76
	Média =2672	Soma =1413	Média =6,70

Tabela 12 - Vazão Economizada no Período de Cheia (2009).

ECONOMIA EM m³/s PARA GERAÇÃO EÓLICA A 85 m de ALTURA			
Meses	VAZÃO (m³/s) Sobradinho	VAZÃO (m³/s) Economizada	Perc(%)
JAN	3459	66	1,89
FEV	1939	101	5,21
MAR	2642	65	2,45
ABR	2701	65	2,39
MAI	1289	71	5,54
JUN	1025	98	9,58
JUL	815	113	13,83
AGO	690	128	18,49
SET	683	159	23,33
OUT	831	117	14,13
NOV	1794	97	5,43
DEZ	3086	86	2,80
	Média =1746	Soma =1166	Média =8,76

Tabela 13 - Vazão Economizada no Período de Seca (2010).

ECONOMIA EM m³/s PARA GERAÇÃO EÓLICA A 98 m de ALTURA			
Meses	VAZÃO (m³/s) Sobradinho	VAZÃO (m³/s) Economizada	Perc(%)
JAN	3459	73	2,10
FEV	1939	111	5,70
MAR	2642	72	2,72
ABR	2701	71	2,65
MAI	1289	79	6,11
JUN	1025	107	10,41
JUL	815	122	15,01
AGO	690	138	19,96
SET	683	170	24,97
OUT	831	128	15,41
NOV	1794	107	5,96
DEZ	3086	95	3,08
	Média =1746	Soma =1273	Média =9,51

Tabela 14 - Vazão Economizada no Período de Seca (2010).

ECONOMIA EM m³/s PARA GERAÇÃO EÓLICA A 120 m de ALTURA			
Meses	VAZÃO (m³/s) Sobradinho	VAZÃO (m³/s) Economizada	Perc(%)
JAN	3459	84	2,43
FEV	1939	125	6,45
MAR	2642	83	3,15
ABR	2701	82	3,04
MAI	1289	90	6,99
JUN	1025	120	11,67
JUL	815	137	16,79
AGO	690	153	22,13
SET	683	187	27,35
OUT	831	144	17,33
NOV	1794	122	6,78
DEZ	3086	109	3,53
	Média =1746	Soma =1435	Média =10,64

Tabela 15 - Vazão Economizada no Período de Seca (2010).

Realizou-se um comparativo com dois períodos, cheia e seca, no intuito de demonstrar a eficiência da energia eólica nos dois períodos, comparando com a vazão afluente da Usina Hidrelétrica de Sobradinho. Comprovou-se, hipoteticamente, que a geração de energia eólica simulada nas três alturas (85, 98 e 120) tiveram praticamente os mesmos resultados, concluindo a significativa importância para o setor elétrico o estudo da complementaridade hidro-eólica, mesmo em períodos inversos (seca e chuva).

Neste comparativo com um período de cheia e com um período de seca dos rios, mostrando que há uma variação significativa do período de cheia para um período de seca, na energia eólica gerada, ambos os comparativos são feitos com a vazão afluente da Usina Hidrelétrica de Sobradinho. Comprovou-se neste estudo hipotético que a variação de energia eólica gerada é mínima, pois a geração eólica no período de seca foi de aproximadamente 269 MWh/h e no período de cheia foi de 264 MWh/h. As simulações realizadas com a potência hipotética instalada de 1050 MW alocadas em 9 (nove) municípios do Estado de Pernambuco na região Nordeste do Brasil, proporcionaram uma contribuição anual de produção eólica na ordem de 29,06 GWh/ano média no período seco e de 28,54 GWh/ano média no período de cheia, com 456 aerogeradores de 2.300 kW média distribuídos pelas fazendas eólicas a 85, 98 e 120 metros de altura.

O fator de capacidade mede o desempenho de uma usina eólica no aspecto energético. Defini-se como a relação entre a potência média a potência máxima de uma usina. As usinas de base têm usualmente fatores de capacidade elevados, enquanto as de ponta apresentam fatores de capacidade mais baixos. Os valores obtidos para as simulações foram superiores ao valor típico esperado para as turbinas eólicas modernas (0,30).

A utilização anual da potência instalada, em horas, é calculada pela divisão da energia produzida pela potência nominal. Os valores em ficaram em média de 1000 a 3600 horas.

Nota-se que a regularização da vazão do rio São Francisco pode receber uma grande colaboração de forma natural do aproveitamento eólico, principalmente no período seco que é o segundo semestre do ano, onde o maior potencial acontece por grande influência dos ventos alísios.

A Figura 9 e 10 apresentam uma comparação das vazões naturais afluentes no rio São Francisco com a média mensal da geração eólica de energia esperada nas estações anemométricas instaladas no Nordeste. Observa-se que o elevado potencial eólico da região Nordeste pode-se induzir que a contribuição da energia eólica a estabilização

sazonal da oferta de energia elétrica pode advir de vários Estados da região, principalmente no segundo semestre do ano, período em que o potencial eólico na região é mais elevado e registram-se as menores vazões no rio São Francisco.

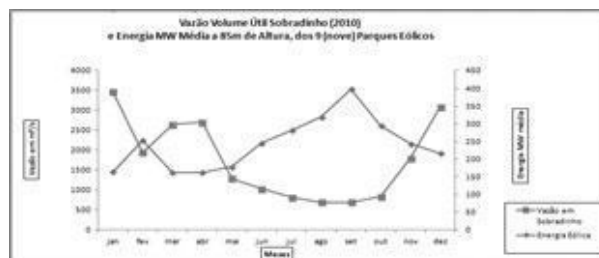


Figura 9 – Comparação das Vazões Afluentes de Sobradinho com a Média Mensal da Geração Eólica em um período de seca (2010)

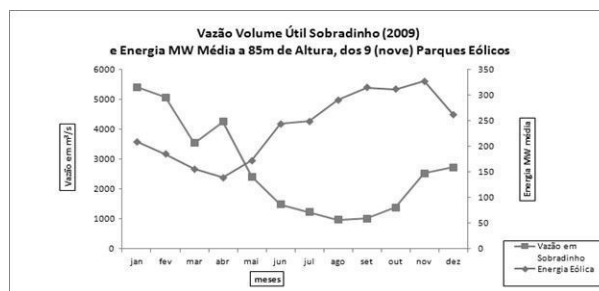


Figura 10 – Comparação das Vazões Afluentes de Sobradinho com a Média Mensal da Geração Eólica em um período de cheia (2009).

Observa-se na Figura 1 que o elevado potencial eólico da região Nordeste do Brasil pode-se induzir que a contribuição da energia eólica a estabilização sazonal da oferta de energia elétrica pode advir de vários municípios da região, principalmente no segundo semestre do ano, período em que o potencial eólico na região é mais elevado e registram-se as menores vazões no rio São Francisco.

A comprovação da existência de uma grande complementaridade sazonal entre os regimes hidráulicos das principais bacias e o regime eólico, como apresentado na Figura 9 em um período de seca, imputa significativos benefícios ao sistema interligado nacional, indicando ser possível adicionar maiores volumes de energia ao sistema exatamente nos períodos secos.

Observa-se também que na Figura 10, quando ocorre o período de cheia e baseado nos resultados obtidos pelos cálculos, percebe-se que há uma variação pequena e significativa entre períodos de seca e períodos de cheia, mostrando que o aproveitamento da energia eólica pode ser feito tanto em um período de seca como em um período de cheia, de forma benéfica, visto que o período de seca

obteve ligeiramente melhor desempenho em todas as alturas simuladas, comparado à produtividade do período de cheia. Cabendo ao Governo criar as condições de desenvolvimento da política energética do país.

5 Conclusão

O estudo hipotético provou que a regularização da vazão do rio São Francisco, mais precisamente na barragem de Sobradinho, pode receber grandes quantidades de energia elétrica de forma eólica, evitando que se tenha que utilizar a água do rio São Francisco, inclusive no segundo semestre do ano, em que ocorrem as menores vazões afluentes e onde ocorre o maior potencial de energia por grande influência dos ventos alísios. Salientando-se que a usina hidrelétrica de Sobradinho é sujeita à múltiplos usos e todo este estudo inicial teve referencia mensal, cabendo futuramente uma análise semanal ou diário para se verificar a real viabilidade operativa desse parque eólico.

Finalmente, as informações geradas servem como importante ferramenta no planejamento e nas tomadas de decisões de empresas, órgãos gestores e do próprio Governo. Entre as principais áreas beneficiadas estão: a agricultura, recursos hídricos, estudos científicos, geração de energia, defesa civil, transportes, saúde, turismo, lazer, etc.

Referências

- [1] ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, (2011). Relatório de Vazões Afluentes Médias Mensais nos Aproveitamentos Hidrelétricos, período de 1931 a 2010.
- [2] CAMARGO, ARILDE SUTIL GABRIEL DE (2005) “Análise da operação das usinas eólicas de Camelinho e Palmas e avaliação do potencial eólico de localidades no Paraná”. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) . Curitiba: CEFET-PR,.
- [3] SILVA, NEILTON FIDELIS (2006) “Fontes de Energia Renováveis Complementares na Expansão do Setor Elétrico Brasileiro: O Caso da Energia Eólica “ [Rio de Janeiro] 2006 VIII, 263 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Planejamento Energético.
- [4] BERNARDO B. DA SILVA, JAKSON J. A. ALVES, ENILSON P. CAVALCANTI & RENILSON T. DANTAS “Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro”, Universidade Federal de Campina Grande, 2002.
- [5] MARINHO, MANOEL HENRIQUE DA NÓBREGA “OFERTA DE ENERGIA ATRAVÉS DA COMPLEMENTARIDADE SAZONAL HIDRO-EÓLICA NO ESTADO DE PERNAMBUCO”, Universidade de Pernambuco.
- [6] MARINHO, M. H. N (2010) “Previsão de Afluências Utilizando Redes Neurais para Complementaridade Hidro-Eólica Visando a Oferta de Energia Elétrica”, Departamento de Engenharia Elétrica e Sistemas de Potência (DEESP) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).
- [7] SALLES, ANA CLAUDIA NIOAC DE (2004) “Metodologias de Análise de Risco para Avaliação Financeira de Projetos de Geração Eólica” ,Tese de Mestrado. [Rio de Janeiro] 2004 X, 83 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento Energético, 2004).
- [8] SILVA, GUSTAVO RODRIGUES (2003) “CARACTERÍSTICAS DE VENTO DA REGIÃO NORDESTE Análise, Modelagem e Aplicações para Projetos de Centrais Eólicas”, Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco
- [9] ESTEVES , TERESA MARIA VELOSO NUNES SIMÕES (2004) “BASE DE DADOS DO POTENCIAL ENERGÉTICO DO VENTO EM PORTUGAL – METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO”, Tese de Mestrado.Universidade de Lisboa.

Modelagem e otimização de um reator trifásico de leito fixo gás-líquido-sólido (Trickle Bed) para indústria do Petróleo usando a técnica numérica transformada diferencial

Santana, C. V.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
jornadesdias@poli.br

Silva, J. D.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

O reator de leito fixo (trickle bed) tem sido amplamente estudado atualmente devido a exigências de um maior controle na emissão de poluentes na indústria do petróleo. Nesse intuito esse trabalho tem como foco a exposição do funcionamento deste reator trifásico bem como otimização do mesmo através de modelos matemáticos dinâmicos gerais e simplificadores que possam fornecer de forma segura e confiável os resultados da fenomenologia realista do regime de escoamento. Palavras chave: leito fixo, modelagem, otimização.

Abstract

The fixed bed reactor (trickle bed) has been extensively studied currently due to demands for a better control of the emission of pollutants in the oil industry. This project has as a goal explain the operation of this three-phase reactor both optimization through general and simplifiers dynamic mathematical models that can provide safely and reliably the results of phenomenology realistic of the flow regime.

1 Introdução

Aspectos dinâmicos relacionados à análise de sistemas trifásicos com contato fluido-sólido têm recebido grande atenção, tendo em vista as possibilidades da quantificação dos fenômenos ocorrendo nas operações de sistemas gás-líquido-sólido. Fenômenos de transferência de massa gás-líquido, líquido-sólido e gás-sólido, dispersão axial, difusão intraparticular, adsorção e reação na superfície catalítica podem ser quantificados através de parâmetros representativos e incluídos nos modelos que venham a descrever o comportamento dos sistemas trifásicos gás-líquido-sólido. Complementações a modelagem podem ser introduzidas, fruto de extensivos trabalhos experimentais, fornecendo correlações, parâmetros adimensionais e mapeando regiões de operações relativas ao escoamento de fluidos em contato com os sólidos. A descrição completa do comportamento de operação de processos em reatores trifásicos de leito fixo sob regime de leito gotejante, com escoamento concorrente descendente das fases gasosa e líquida sobre partículas sólidas, envolve aspectos relacionados à hidrodinâmica das fases fluidas, transferência de massa interfases gás-líquido, gás-sólido e líquido-sólido, à difusão nos poros do catalisador e às interações fluido-sólido como adsorção, reação e dessorção. Enfatizando a análise desses reatores trifásicos, recorre-se à aplicação de modelos dinâmicos capazes de descrever a fenomenologia realista dos regimes transiente e estacionário, permitindo avaliações seguras e confiáveis em controle e otimização do processo [1],[2],[3].

2 Modelagem Matemática

Com o objetivo de descrever de forma simplificada os processos que ocorrem na região de contato do Reator Trifásico de Leito Fixo, este foi modelado e simulado utilizando artifícios matemáticos. Métodos de diferenciação foram aplicados às equações diferenciais. Os modelos encontrados podem ser depois devidamente comparados com dados disponíveis na literatura. Para o modelo desenvolvido considera-se uma geometria cilíndrica, considerando o efeito de distribuição (alimentação na base do reator e produtos retirados no topo). A pesquisa que visa melhorar o desempenho dos reatores de leito gotejante tem sido estimulada principalmente pela necessidade do mercado de derivados do petróleo, buscando maiores quantidades de produtos de frações leves de petróleo em refinarias. Desta forma, o modelo matemático abaixo é destinado para esta pesquisa.

- Balanço de energia para a fase gasosa;

$$\frac{\partial T_g(z)}{\partial t} + N_{sf} \frac{\partial T_g(z)}{\partial z} = \alpha_x \frac{\partial^2 T_g(z)}{\partial z^2} - \frac{h_{sg}}{\varepsilon_s C_{pg} R} [T_g(z) - T_s(r)]_{r=R} \quad (1)$$

Condições iniciais e de contorno para a Equação (1);

$$T_g(z)_{t=0} = T_0; 0 \leq z \leq L \text{ des iniciais e de}$$

contorno para a Equação (53):

$$C_s(r,t)_{t=0} = C_{s0}; 0 \leq r \leq R \quad (14)$$

$$T_s(r,t)_{r=0} = T_{s0}; T_s(r,t)_{r=R} = T_{se}; t \geq 0 \quad (15)$$

$$\left. \frac{\partial C_s(r,t)}{\partial r} \right|_{r=0} = 0; t \geq 0 \quad (16)$$

Balanço de massa para adsorção:

$$\frac{\partial C_a(r,t)}{\partial t} = \frac{1}{R} \left[K_{ad} C_s(r,t) - K_{da} C_a(r,t) \right] \quad (17)$$

Condições iniciais e de contorno para a Equação:

$$C_{ad}(r,t)_{t=0} = C \quad (18)$$

3 Resultados

Através da discretização das equações de balanço, foram desenvolvidas equações iterativas para as temperaturas das fases gasosa e sólida e para as concentrações das fases gasosa, sólida e de adsorção. Tais equações seriam:

$$T_g^{n+1}(z) = \frac{1}{\Delta z} \left[\alpha_x \frac{\partial^2 T_g^n(z)}{\partial z^2} + N_{sf} T_g^n(z) - h_{sg} [T_g^n(z) - T_s^n(r)]_{r=R} \right] \quad (19)$$

$$T_s^{n+1}(r) = \frac{1}{R} \left[K_{ad} C_s^n(r) - K_{da} C_a^n(r) \right] + T_s^n(r) \quad (20)$$

$$\frac{dT_g}{dt} = \frac{1}{\rho_g C_{p,g}} \left(\frac{4\pi r^2 h_{fg} (T_g - T_s)}{V_p} - \frac{dT_g}{dt} \right) \quad (21)$$

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{1}{\rho_s C_{p,s}} \left(\frac{4\pi r^2 h_{fg} (T_g - T_s)}{V_p} - \frac{dT_s}{dt} \right) \quad (22)$$

$$\frac{dT_g}{dt} = \frac{1}{\rho_g C_{p,g}} \left(\frac{4\pi r^2 h_{fg} (T_g - T_s)}{V_p} - \frac{dT_g}{dt} \right) \quad (23)$$

Para a implementação do método foram feitas duas considerações matemáticas. Os valores de Δz (que corresponde a variação da distância axial do reator) e Δr (variação da distância radial da partícula) foram representados com os valores 0,1 e 0,05 respectivamente. Aplicando iterações sucessivas (um valor total de 300 iterações para cada variável), foram obtidos os seguintes resultados:

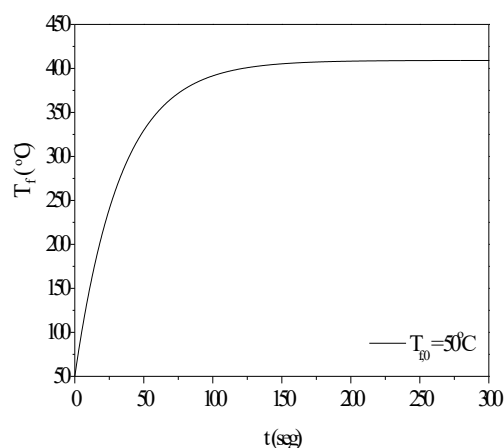


Fig 1. Comportamento da Temperatura da Fase Gasosa como Função do Tempo com uma Velocidade Superficial do Fluido, $V_{sf} = 2,94 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$.

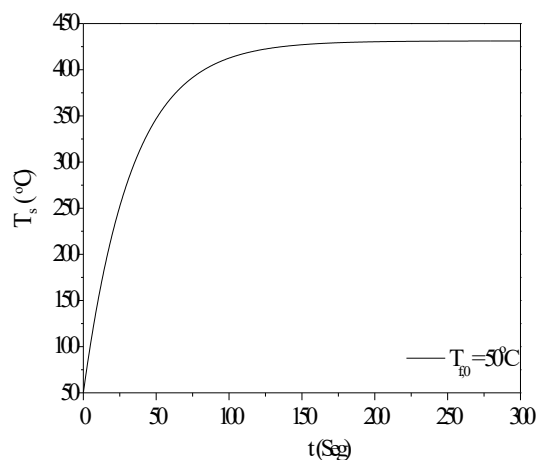


Fig 2. Comportamento da Temperatura da Fase Sólida como Função do Tempo com uma Velocidade Superficial do Fluido, $V_{sf} = 2,94 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$.

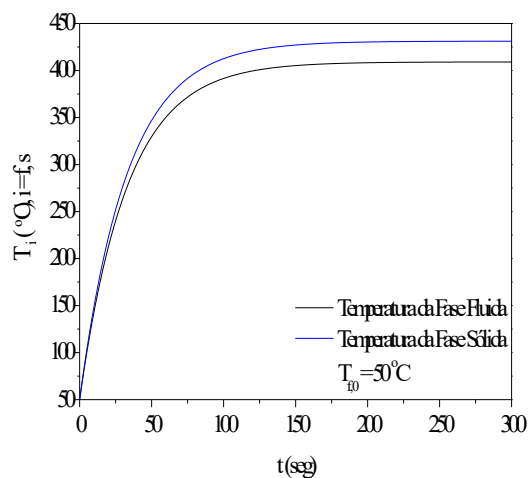


Fig 3. Comparação entre as Temperaturas da Fase Fluida e Sólida como Função do Tempo com uma Velocidade Superficial do Fluido, $V_{sf} = 2,94 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$.

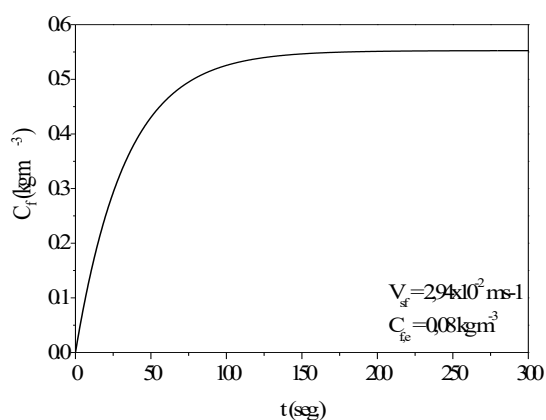


Fig 4. Comportamento da Concentração da Fase fluida como Função do Tempo com Temperatura de Entrada de $T_f = 50^\circ\text{C}$.

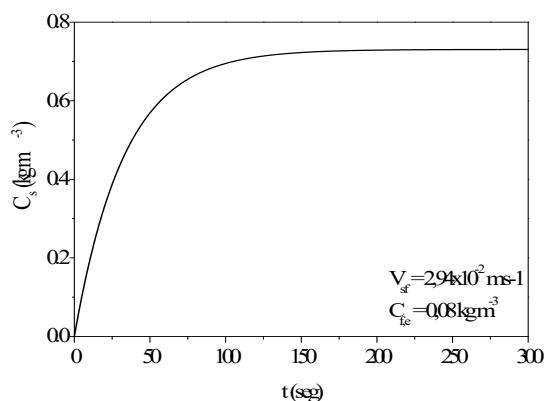


Fig 5. Comportamento da Concentração da Fase Sólida como Função do Tempo com Temperatura de Entrada de $T_f = 50^\circ\text{C}$.

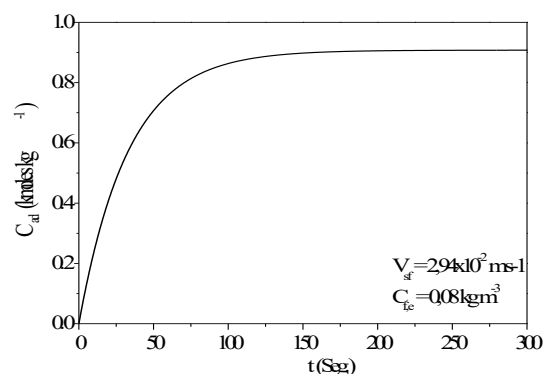


Fig 6. Comportamento da Concentração de Adsorção na Sólida como Função do Tempo com Temperatura de Entrada de $T_f = 50^\circ\text{C}$.

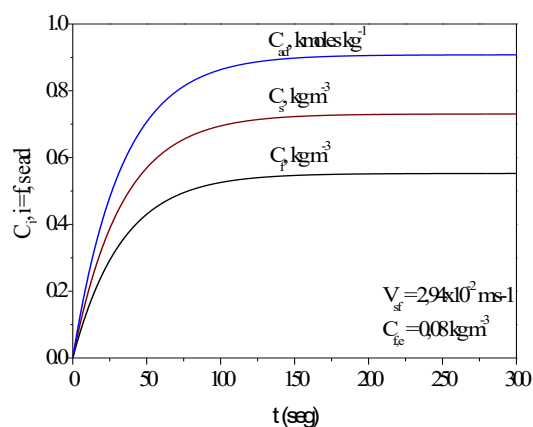


Fig 7. Comparação das concentrações das fases gasosa, sólida, e de concentração de adsorção como Função do Tempo com Temperatura de Entrada de $T_f = 50^\circ\text{C}$.

4 Conclusões

Foram obtidos os seguintes resultados tomando por base os estudos, modelagem e simulação dos balanços de energia e massa de um reator trifásico de leito fixo: 1) Análise do comportamento das temperaturas de ambas as fases gasosa e sólida; 2) Observação do comportamento das concentrações das fases sólida e líquida de um processo catalítico bem como da concentração de adsorção.

A elaboração do código computacional para processar e analisar o comportamento das variáveis em estudo desta pesquisa permitiu a conduzir as seguintes conclusões:

- Analisar os comportamentos das temperaturas nas fases gasosa e sólida bem como uma análise comparativa entre as temperaturas das duas fases;
- Observar os comportamentos das concentrações nas fases fluida e sólida como também a concentração do componente adsorvido nos poros da fase líquida. Além disso, também foi observado, usando uma análise comparativa, evolução das concentrações nas fases fluida e sólida bem como a concentração do componente adsorvido.

5 Anotações

C_f	Concentração da fase fluida, kg/m ³
C_s	Concentração da fase sólida, kg/m ³
C_{ad}	Concentração adsorvida, mole/kg
$C_{f,0}$	Concentração inicial da fase gasosa, kg/m ³
$C_{s,0}$	Concentração inicial da fase sólida, kg/m ³
K_{ad}	Constante de adsorção, m ³ /kg
$T_{f,0}$	Temperatura inicial da fase gasosa, K
$C_{ad,0}$	Concentração inicial de adsorção, kg/m ³
V_{sf}	Velocidade superficial do fluido, m/s
α_{ax}	Dispersão da fase térmica

6 Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer pelo apoio financeiro à Escola Politécnica de Pernambuco que permitiu integralmente a realização da pesquisa no Laboratório de Tecnologia Energética e Ambiental – LATEA

Referências

- [1] Iliuta, I.; Bildea, S. C.; Iliuta, M. C.; Larachi, F. Analysis of Trickle Bed and Packed Bubble Column Bioreactors for Combined Carbon Oxidation and Nitrification. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 19: 69-87, 2002.
- [2] Silva, J. D. Dynamic evaluation for liquid tracer in a trickle bed reactor. *J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng.*, v. 33, n. 3, 2011. DOI: 10.1590/S1678-58782011000300002.
- [3] Silva, J.D.; Lima, F.R.A.; Abreu, C.A.M. and Knoechelmann, A. Experimental analysis and evaluation of the mass transfer process in a trickle-bed reactor. *Braz. J. Chem. Eng.*, 2003, vol.20, n.4, pp. 375-390. DOI: 10.1590/S0104-66322003000400005.
- [4] DECKWER, W.-D. *Bubble column reactors*. New-York: John Wiley, 1992.
- [5] WESTERTERP, K. R., van SWAAIJ, W. P. M., BEENACKERS, S. A C N. *Chemical reactor design and operation*. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- [6] DORAISWANY, L. K, SHARMA, M. M. *Heterogeneous reactions - analysis, examples, and reactor design*. New York: John Wiley & Sons, v.2, 1984.
- [7] HAN, S., ZHOU, J., JIN, Y., LOH, K C., WANG, Z. Liquid dispersion in gas-liquid-solid circulating fluidized beds. *Chem. Eng. J.*, v.70, p.9-14, 1998.

Monitoramento e Controle para um sistema solar de Aquecimento de água industrial

J. Bione, M. F.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
jbionef@bol.com.br
jbionef@poli.br

Ramos, M. P.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
monalyzapr@mail.com

Resumo

Este trabalho apresenta o grande potencial de geração de energia solar no Brasil e principalmente no Nordeste. Descrevemos os principais sistemas de aquecimento de água por energia solar, além de estudar o funcionamento e implementar melhorias no sistema de aquecimento do óleo do motor-gerador contido na planta de geração de energia da Termocabo S.A.

Abstract

This work shows the great potential for solar power generation in Brazil and especially in the Northeast. It describe the main systems of water heating by solar energy and study his operation. we also implement improvements in the heating oil motor generator contained in the plant's power generation Termocabo SA.

1 Introdução

A principal fonte de energia da terra é o sol, responsável por 99% do seu balanço energético, portanto uma exímia fonte de energia renovável. Diversos estudos e pesquisas comprovam a eficiência e a viabilidade econômica da tecnologia termossolar.

A empresa TERMOCABO Ltda, usina termoelétrica de carga nominal de 48 MW situada na cidade do Cabo de Santo Agostinho, constituída por três motores Wärtsilä 18V46, os quais utilizam como combustível o óleo pesado (HFO), necessita manter o óleo destes motores pré-aquecidos, através de troca de calor com um fluido quente, no caso a água. Atualmente o aquecimento do óleo é realizado por uma caldeira, que utiliza como combustível o gás natural.

Devido aos impactos ambientais e ao alto custo referente ao gás natural, a Termocabo decidiu iniciar um projeto de Pesquisa e desenvolvimento (P&D) com a Associação Politécnica de Consultoria - POLICONSLUT, sociedade civil sem fins lucrativos, formada por professores da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI-UPE), almejando à implementação de coletores solares planos para substituir a caldeira.

Este projeto já se encontra em andamento na POLI-UPE, e esta pesquisa refere-se ao uso de uma bomba hidráulica acionada por uma placa solar, que deve ser adicionado ao projeto, de forma a melhorar seu desempenho e garante uma maior versatilidade quanto ao posicionamento dos componentes da instalação.

2 Introdução

A transmissão de energia solar para a Terra se dá através da radiação eletromagnética, porém ao atingir o limite superior da atmosfera terrestre, a radiação sofre uma série de reflexões, absorções e dispersões durante seu percurso até o solo e esses processos estão sujeitos a influências, sendo elas condições do céu, estações do ano, latitude, condições atmosféricas e hora do dia.

Dois conceitos importantes utilizados no estudo da energia solar são os conceitos da irradiância e irradiação. A irradiância é vista como sendo a densidade de potência incidente em sua superfície por unidade de tempo, no caso da irradiação pode ser conceituada como uma energia incidente por unidade de tempo.

Em termos de unidade temos que a irradiância é medida em kW/m^2 , a irradiação por sua vez tem como unidade de medida kWh/m^2 ou qualquer unidade equivalente.

3 Sistema de Aquecimento de Água por Energia Solar

Os principais componentes que compõem um sistema de aquecimento de água por energia solar são: o coletor e os reservatórios térmicos.

O coletor é o componente mais importante de um sistema de aquecimento solar, pois é ele o responsável pela conversão da energia solar em energia térmica. É composto por uma cobertura transparente ou translúcida, uma superfície absorvedora e um sistema de transferência de calor.

O absorvedor é a parte do coletor responsável pela recepção, absorção, conversão e transferência da energia solar captada para o fluido de trabalho. O gabinete também faz parte do coletor e tem por finalidade isolar o absorvedor do meio ambiente.

Os reservatórios podem ser de água quente, fria. Os de água quente também são chamados de boilers e fabricados geralmente em aço inoxidável ou cobre. Os boilers são constituídos por duas superfícies cilíndricas uma interna e outra externa tendo entre as mesmas um isolante térmico.

4 Funcionamento dos Coletores Planos

No que se refere ao funcionamento do sistema de aquecimento solar, podemos verificar que consiste na passagem do calor pelas placas planas ou aletas ocorrendo da seguinte forma. Os raios solares incidem através da cobertura de vidro, parte da radiação é refletida por esta cobertura, e parte absorvida, esquentando-a, esta se aquece e parte do calor é conduzida para a serpentina de tubos onde circula a água, que recebe este calor por convecção.

A cobertura de vidro superior diminui as perdas de calor por convecção natural com o ar, se o vidro for opaco à radiação de raios infravermelhos da superfície absorvedora causa o efeito estufa. Isto faz com que parte das perdas por radiação desta superfície negra e dos tubos, exista uma camada de material isolante térmico, sendo este conjunto fechado em uma caixa que também auxilia no isolamento.

Quanto a forma do fluido passar pelo coletor, podemos classificar os sistemas em dois grandes grupos, os sistemas passivos onde o fluido passa pelo coletor por um processo chamado de termofissão, que ocorre graças a uma força motriz que decorre da diferença de densidade do fluido. Já no sistema ativo, deve ser adicionada ao projeto uma bomba hidráulica para forçar o fluido a percorrer o coletor.

5 Projeto TERMOCABO

O projeto solicitado pela TERMOCABO Ltda a POLI-CONSULT busca implementando a utilização de coletores solares planos, que utilizam superfícies concentradoras na forma de parábolas truncadas que refletem a radiação solar no seu eixo onde um tubo absorvedor recebe esta energia. Pelo interior do tubo circula um fluido, no caso desse projeto é a água, a ser aquecido, em substituição ao sistema de gás natural que também realiza o pré-aquecimento da água que troca calor com o óleo utilizado nos blocos dos motores da Usina Termocabo.

6 Bomba Hidráulica

O sistema de aquecimento será um sistema ativo, e a bomba hidráulica escolhida para o projeto da termocabo é a minibomba da marca POWERFIX, esta bomba foi escolhida por possuir o grande diferencial de poder ser acionada pelo motor de uma furadeira convencional, dessa forma, o nosso sistema pode ser utilizado em aplicações industriais e residenciais, já que a furadeira é um equipamento que pode que a maioria das pessoas possui em casa, além de apresentar baixo custo e fácil instalação, abaixo podemos ver como ela é utilizada e suas partes constituintes.

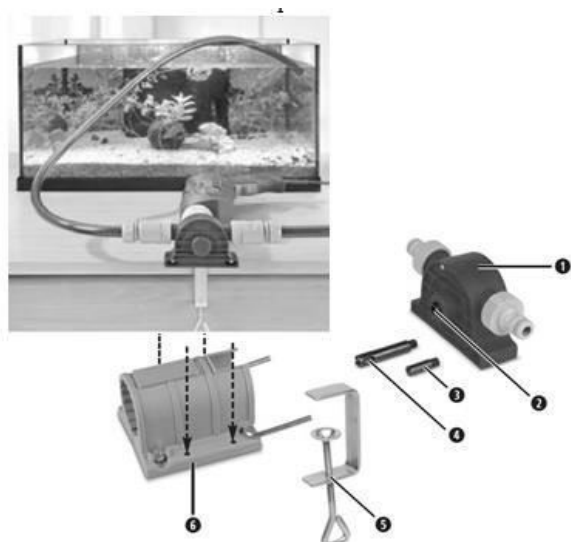


Figura 4 – Bomba hidráulica

1. Bomba
2. Eixo de acionamento da bomba
3. Haste de acionamento pequena
4. Haste de acionamento grande

5. Dispositivo de fixação por aperto Suporte.

Para o acionamento da bomba será utilizado uma placa solar e um inversor de frequência. A placa fornece 12 V de tensão contínua, que alimenta o inversor, o inversor tem a finalidade de transformar a tensão contínua em uma tensão alternada, no nosso caso 220V de tensão alternada. O inversor utiliza transistores IGBTs (transistor bipolar com gate isolado), através de uma lógica de controle, os transistores são “ligados e desligados” de modo a alterar a intensidade e o sentido de corrente que circula pelo motor.

7 Células fotovoltaicas

No sistema fotovoltaico a energia proveniente do sol é transformada diretamente em eletricidade. As células fotovoltaicas são os dispositivos responsáveis por este processo de conversão. As células fotovoltaicas são constituídas por um material semicondutor, o silício, ao qual são adicionadas substâncias, ditas dopantes, de modo a criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico, isto é, conversão direta da potência associada à radiação solar em potência elétrica CC. (Rui M. G. Castro, 2008).

Visando ampliar os conhecimentos a respeito da energia solar e a geração de energia elétrica a partir da energia solar, foi elaborado um ensaio com duas placas solares da POLI-UPE, o ensaio seguiu da seguinte forma:

- 1- Conectar a placa ao simulador de carga;
- 2- Encontrar o valor máximo e mínimo de tensão gerado pela fonte ao variar a carga;
- 3- Dividir esta escala em 10 valores iguais;
- 4- Montar uma tabela, iniciando do menor valor de tensão e aumentando os valores até o valor máximo, medindo simultaneamente a tensão e a corrente.

Para as duas placas medidas, foi anotado o horário das medições, a partir das medições montamos as seguintes tabelas:

Placa A

A	V	I
1	18,35	0
2	17,82	0,42
3	17,51	0,82
4	17,37	1,2
5	16,93	1,6

6	16,48	2
7	16	2,43
8	15,47	2,83
9	14,5	3,39
10	1,22	3,85
11	0,1	4
Horário		11:05

Placa B

B	V	I
1	16,4	0
2	15,98	0,4
3	15,55	0,8
4	15,12	1,2
5	14,69	1,6
6	14,17	2
7	13,53	2,42
8	12,65	2,82
9	8,45	3,28
10	0	3,7
Horário		10:50

Uma curva característica de uma célula fotovoltaica é a representação dos valores da corrente (I) de saída de um conversor fotovoltaico, em função da tensão (V). A análise da curva $I \times V$ é de fundamental importância na caracterização de um gerador fotovoltaico, pois a partir dela é possível obter-se os principais parâmetros que determinam sua qualidade e desempenho.

A ilustração abaixo representa uma célula fotovoltaica sob diversas condições de iluminação:

- Sem iluminação a célula tem as mesmas características elétricas de um diodo;
- Quando a célula é iluminada, sua curva $I \times V$ é deslocada para o 4º quadrante;
- Quanto maior a intensidade da radiação, maior é o deslocamento da curva;
- A curva é, por convenção rebatida sobre o eixo das tensões, tornando o 1º quadrante o quadrante de geração.

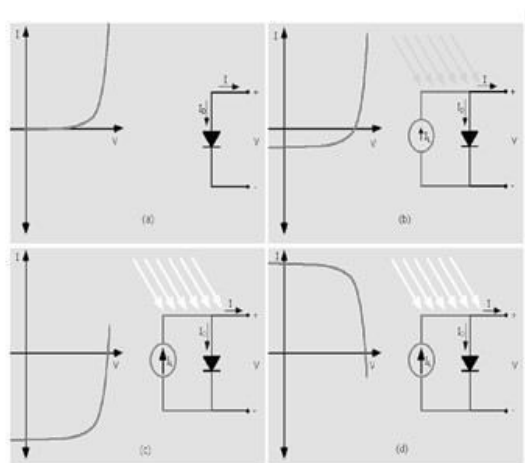
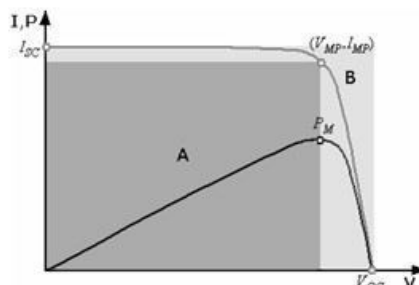


Figura 3 – Célula fotovoltaica sob diversas condições de iluminação.


 Figura 4 – Curva característica de $I \times V$ e de potencia.

A curva característica apresenta três pontos notáveis, sendo eles:

- Corrente de curto-circuito I_{sc} : É a corrente que circula por uma célula iluminada quando a tensão em seus terminais é nula.
- Tensão de circuito aberto V_{oc} : É a tensão entre os terminais de uma célula iluminada quando a corrente que circula por ela é nula.
- Ponto de máxima potência P_M : É o ponto da curva para o qual o produto tensão $\times$ corrente é máximo. A figura abaixo mostra a curva $I \times V$ (em vermelho) e a curva de potencia (em azul), destacando os pontos citados, vale salientar que o ponto I_{sc} e V_{oc} representam respectivamente a máxima corrente e a máxima tensão gerada pela fonte, porem estes pontos apresentam potencia de saída igual a zero, de acordo com o gráfico podemos notar que a curva da potencia (curva azul) cresce linearmente ate atingir o ponto de máxima potencia.

Segue abaixo as curvas geradas a partir dos dados coletados no experimento, podemos perceber que as curvas já apresentam uma certa defasagem em relação a curva ideal, isso se deve ao fato do tempo de uso das placas, mais as características principais se preservam.

Figura 5 – curva característica da placa solar A. $I_{sc} = 3,7^a$, $V_{oc} = 16,4$ V

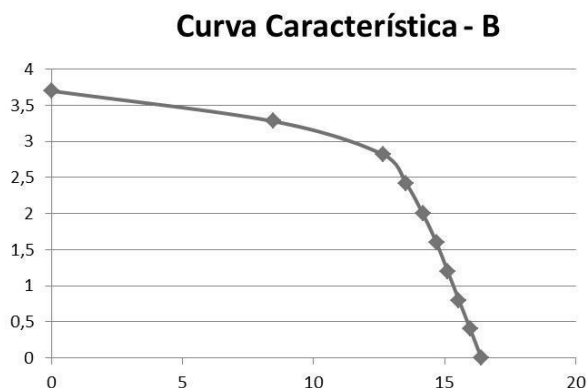


Figura 6 – curva característica da placa solar B. $I_{sc} = 4^a$, $V_{oc} = 18.35$ V

8 Conclusão

Diante dessa pesquisa pode-se concluir que os avanços tecnológicos já tornam o uso dos coletores viáveis e competitivos, tendo agora como maior desafio conquistar a confiança dos usuários, que esta relacionada ao custo inicial e a necessidade de fontes alternativas, vencendo-se essas barreiras á utilização de coletores planos para o aquecimento de água será a melhor opção.

O projeto implantado em conjunto com a TERMO-CABO e a POLICONSULT demonstra que os sistemas de aquecimento de água por energia solar já é uma opção técnica e economicamente viável, necessitando apenas de mais oportunidade no mercado.

Referências

- [1] COMETTA,Emilio. Energia Solar, Utilização e Efeitos Práticos. Hermus editora.2004.
- [2] LIMA, Juliana Benoni Arruda, *otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS*, São Paulo,: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003, 123p. Dissertação de mestrado.
- [3] BORGES, Thomaz P. De Freitas, *síntese otimizada de sistemas de aquecimento solar de água*, Campinas, Universidade Estadual De Campinas, Faculdade De Engenharia Mecânica. 2000, 130p. Tese de Doutorado.
- [4] MENDONÇA, Bernadette Vechia de, *estudo da problemática da aplicação de coletores solares para aquecimento de água, no segmento residencial de alto padrão, com base em escalas de projeto arquitetônico e dimensões de planejamento*, São Paulo, Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, 2009, 190p. Dissertação de Mestrado.
- [5] SOUZA, Karina terra de; MIRANDA, Láilly de Souza; SILVA, Márcia Almeida, *Aquecimento de água através do uso de coletores planos*, Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 1, p. 51-57, 2010.
- [6] SOUZA, Karina terra de; MIRANDA, Láilly de Souza; SILVA, Márcia Almeida, *Aquecimento de água através do uso de coletores planos*, Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 1, p. 51-57, 2010.

Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada

Volume 2 – Número 1 – Outubro 2016

TRABALHOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – 2013-2014

Fatores de redução de resistência de geotêxtil tecido devido a danos mecânicos causados por resíduos de construção e demolição reciclados (RCDR)

Edvan Moises – E.C. Santos 420

Inovação na tecnologia construtiva de revestimento com a aplicação da argamassa projetada: caracterização e indicadores

Gabriela Moraes – A.C. Lordsleem 429

Modelagem conceitual de bancos de dados espaciais para análise geotécnica

Lucas Amorim – A.R. Moura – Alexandre Gusmão – F.P. Alves 437

Influência de Aditivo Retardador de Pega na Argamassa de Gesso

Luís Mesquita – Yêda Povoas 444

Identificação e discriminação de Pontos Negros de segurança Viária na Br-101

T.T. Silva – Kohlman Rabbani – M. Macedo 451

Estudo e Implementação Computacional de um Sistema de Comunicação Digital

Amaro Silva – M.L. Alcoforado 472

Utilização de modelos analíticos para quantificação de crosstalk em WSSs

Artur Barreto – Daniel Chaves 478

Sensores MEMS para Análise de Movimento Humano

Iturbide Felipe – Rafael Caldas – Diego Rativa 484

Mapeamento e Reconstrução 3D com a utilização da Estereoscopia e SURF

Jonas Cordeiro – Bruno Torres Fernandes 491

Wi-Fi na Escola Politécnica de Pernambuco <i>Oto Costa</i>	497
Visão Estereoscópica no Arduino <i>Alves Junior – Marcilio Feitosa – G.R.P Esteves</i>	501
Aplicação de Métodos de Identificação de BLACKPOSTS Usando SIG <i>Thamyres Silva – M.R. Macedo – Kohlman Rabbani</i>	507
Construção de um Rastreador Solar de dois eixos <i>Lorena Guimaraes – Luis Arturo Gomez Malagon</i>	517
Obtenção de Biodiesel derivado do óleo de semente de faveleira <i>Lucas Gomes – C.M. Silva</i>	522
Scanner Laser 3D de Baixo Custo <i>Rayan Roque – Luis Arturo Gomez Malagon</i>	526
Utilização de Diversos Tipos de Biomassa em Pirolisador Multicombustível <i>Thomaz Lucas – E.C.M Loureiro</i>	534

Fatores de redução de resistência de geotêxtil tecido devido a danos mecânicos causados por resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R)

Silva, E. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
edvan70@hotmail.com

Santos, E. C. G. 2

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

O uso de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em obras com geossintéticos apresenta-se como uma interessante alternativa do ponto de vista econômico-ambiental. No entanto, para viabilizar esta proposta, um fator primordial deve ser investigado: os danos mecânicos que os RCD-R podem causar nos geossintéticos durante os processos de lançamento e compactação. Diante disso, esta pesquisa buscou avaliar experimentalmente os danos mecânicos em geotêxtil tecido devido a danos mecânicos causados por RCD-R. Com isso, espera-se obter parâmetros de fatores de redução de resistência à tração, que possam subsidiar a elaboração de projetos que contemplem o uso de RCD-R em obras de terra reforçadas com geossintéticos. Os resultados revelaram os RCD-R apresentam excelentes propriedades geotécnicas, com uma baixa variabilidade. Observou-se também que os danos provocados pelo lançamento do RCD-R foram influenciados pelo tipo de geotêxtil tecido e a altura de lançamento.

Abstract

The use of construction and demolition waste (RCDW) in geosynthetics works appears as an interesting economic environmental perspective. However, in order to allow this proposal, a key-point must be investigated: the mechanical damages that RCDW may cause in geosynthetics due to the displacement and compaction of these residues. In this scenario, this study evaluated experimentally the mechanical damage in non-woven geotextiles due to mechanical damage caused by RCDW. This may allow calculate the strength reduction factor needed to design new projects considering the use of RCDW in geosynthetic reinforced soil walls. The results revealed that RCDW has excellent geotechnical properties with low variability. It was also observed that amount of damages caused by RCDW on geosynthetics specimens was affected by geosynthetics types and RCDW drop height.

1 Introdução

O aumento do número de indústrias e da população nos centros urbanos gerou um incremento na quantidade e na diversidade de resíduos – muitos deles poluentes – descartados na natureza. Como um resultado disso, pode-se destacar o comprometimento da qualidade de vida em vários ambientes. Nesse cenário, surgiu, então, a necessidade de consolidar novos modelos de desenvolvimento que propiciem a sustentabilidade através de alternativas de utilização dos recursos existentes, orientadas por uma racionalidade ambiental.

Neste contexto, a indústria da construção civil (ICC) é reconhecida como a responsável por consideráveis impactos ambientais, sociais e econômicos. Diante disso, faz-se necessária uma política abrangente para o correto destino dos resíduos gerados, os resíduos de construção e demolição (RCD). Essa significativa geração de RCD pode ser constatado por meio da análise da participação dos RCD nos resíduos sólidos urbanos (RSU) nas cidades brasileiras, segundo o IBGE 51% à 70% do RSU é composto de RCD.

Vislumbrando esse problema, o conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), publicou em 2002, a resolução 307º, que obrigam os geradores dos resíduos e as prefeituras a tomarem medidas na redução e reciclagem do RCD. Segundo Gusmão (2008), cerca de 91% desse resíduos tem potencial reciclável sob a forma de agregado.

Diante desta problemática, a solução mais viável para os RCD é a sua reutilização ou reciclagem. Entre as diversas alternativas, destacam-se as propostas de utilização de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em obras de solo reforçado ou pavimentação, uma vez que tais obras requerem uma grande quantidade de material com comportamento mecânico usualmente atendido por esses resíduos.

De acordo com Santos (2007, 2011), a utilização de RCD-R para aterros em estruturas de solo reforçado (ESR) com utilização de geossintéticos mostra-se como uma alternativa viável. No entanto, faz-se necessário investigar os eventuais danos que o RCD-R pode causar durante o lançamento e compactação desses materiais sobre os geossintéticos.

1.1 Estrutura de solo reforçado com RCD-R

Segundo Becker (2006), a técnica de solo reforçado com geossintéticos consiste na combinação destes dois materiais, de naturezas essencialmente distintas e funções complementares, visando a obtenção de um material com-

posto mais resistente e menos deformável que o solo natural. O solo, que apresenta boa resistência à compressão e baixa resistência à tração, é reforçado com elementos geossintéticos que, geralmente, possuem boa resistência à tração.

Segundo a NBR 12553/2003, geossintéticos são definidos como “produtos poliméricos (sintéticos ou naturais), industrializados, desenvolvidos para a utilização em obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais funções, entre as quais destacam-se: reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, impermeabilização e controle de erosão superficial”.

Santos (2007) avaliou o potencial de uso de RCD-R em estruturas de solo reforçado com geossintéticos. Os resultados de Santos (2007) revelaram que os ensaios de caracterização do RCD-R estudado apresentaram baixa variabilidade nas suas propriedades e que o mesmo atendia às normas British Standard (BS 8006) e Federal Highway Administration (FHWA, 2001) para execução de solo reforçado. De acordo com Santos (2007, 2011), os resultados dos ensaios de cisalhamento direto demonstraram que o RCD-R ensaiado possuía excelente comportamento mecânico, o que possibilitaria a sua utilização em estruturas de solo reforçado.

1.2 Danos nos geossintéticos causados por RCD-R

Dentre as principais características de um elemento de reforço, a resistência à tração é a principal característica, pois esta é condicionante para a segurança da estrutura. Diante disso, a utilização de RCD-R em estruturas de solo reforçado com geossintéticos gera um fator primordial a ser investigado: a redução de resistência em geossintéticos devido a danos mecânicos causados por RCD-R.

Segundo Sieira (2003), durante o processo de instalação, o geossintético pode sofrer danos provocados pela compactação, tráfego de veículos, lançamento de agregados pontiagudos, rasgos, etc. reduzindo, assim, as suas propriedades mecânicas.

De acordo com Santos (2011), valor do fator de redução devido a danos mecânicos depende das condições de manuseio e instalação do geossintético, da gramatura do material de aterro e dos cuidados e técnicas de construção (equipamentos e energia de compactação). Quanto menor a gramatura do geossintético mais sensíveis são aos danos mecânicos, em especial com gramatura inferior a 300g/m².

2 Materiais e Métodos

2.1 RCD-R

O RCD-R utilizado nesta pesquisa foi coletado na Usina de Reciclagem Ciclo Ambiental Ltda, localizada em Camaragibe-PE, um município da Região Metropolitana do Recife.

O RCD-R coletado para a pesquisa é nomeado pela usina de reciclagem como “refugo”, sendo o material menos nobre produzido e, assim, destinado para a execução de aterros.

As amostras foram coletadas na saída da esteira do britador (Figura 1), em um período de aproximadamente 1 (um) mês, com intervalos de 7 dias. As quantidades e as datas de coleta são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Coletas do RCD-R.

Amostra	Data da coleta	Quantidade (kg)
01	19.11.2013	75
02	26.11.2013	72
03	03.12.2013	82
04*	10.12.2013	79
05	17.12.2013	87

Onde: (*) material coleado com a máquina desligada. Material retirado do alto da pilha.



Figura 1. Equipamento empregado na britagem do resíduo. (Blenda soute Maior/DP/DA Press).

2.2 Geossintético

Foram usados nesta pesquisa dois tipos de geotêxteis tecido, um de poliéster (PET) e poliamida (PA) e o outro de polipropileno (PP) (Figura 2), com gramaturas de gramatura de 230 e 250 g/m², respectivamente. Tais geotêxteis possuem como principais funções a de reforço e de

separação. O geotêxtil de PET e PA exigiu um maior cuidado durante o seu manuseio e foi cortado no sentido transversal, pois é era o de menor resistência à tração (Tabela 2).



Figura 2. Amostras de geossintéticos.

Tabela 2. Características dos geossintéticos.

Característica	Geotêxtil (PET e PA)	Geotêxtil (PP)
Polímero	Poliéster e Poliamida	Polipropileno
Gramatura (g/m ²)	230	250
Resistência à tração (KN/m)		
Longitudinal	100	45
Transversal	50	45
Deformação nominal de ruptura (%) (Long)	10	15
Deformação nominal de ruptura (%) (Trans.)	20	15

Onde: NI = não informado

2.3 Caracterização do RCD-R

Como este estudo trata-se de uma proposta de aplicação de RCD-R em uma obra geotécnica, as amostras foram submetidas a ensaios de caracterização de solos. Para isso, foram consultados os procedimentos prescritos nas seguintes normas:

- NBR 6457/86. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização;
- NRB 7181/84 – Solo – Análise granulométrica;

- NBR 6508/84 – Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica;
- NBR 7182/86 – Solo – Ensaio de compactação.

Nos ensaios de compactação foi empregada a energia de Proctor Normal e foram executados com reuso de material.

2.4 Ensaios em campo

Após a caracterização do RCD-R, ficou constatado que o material apresentava uma predominância de solo arenoso e pedregulhos. Essa constatação levou a optar pelo lançamento e compactação do RCD-R, afim de verificar a ocorrência de danos no geotêxtil.

Para a realização dos ensaios no campo, foram adotados 3 cenários com diferentes de altura de lançamento do RCD-R, para analisar e comparar os resultados obtidos em cada cenário (Tabela 3). Para o ensaio de campo, foi construída uma caixa de madeira de 4m x 1,2m x 0,30m. A caixa teve a função de controlar o ambiente onde as amostras seriam ensaiadas, evitando, assim, a sua mistura com o solo natural.

Tabela 3. Cenários de lançamento do RCD-R.

Cenário	Altura de queda (m)
01	0,00
02	1,00
03	2,00

Após a execução da camada de base (de 0,08 m de espessura) de RCD-R, as amostras de geotêxtil foram colocadas de forma alternada em função do tipo do geotêxtil, afim de minimizar os erros pois durante o processo de lançamento do RCD-R não se pode garantir que o material cairia igualmente sobre todas as amostras (Figura 3). Em seguida foi adotado altura de queda diferente para cada cenário 0m, 1m e 2m, com a altura de queda do RCD-R sendo controlada com uma trena (Figuras 4 e 5).

Antes da compactação, o RCD-R foi espalhado sobre as amostras de geotêxtil de forma que a camada a ser compactada estivesse nivelada e recebesse o mesmo número de golpes do compactador à percussão. O número de passadas com o compactador à percussão sobre a camada de 0,20 m de RCD-R foi igual a 3 (três) passadas e mantido igual em todos os experimentos.



Figura 3. Amostra dispostas alternadamente, em função do tipo de geotêxtil.



Figura 4. Cenário com altura de queda de 2m.



Figura 5. Cenário com altura de queda de 1m.

2.5 Ensaio para determinação do dano mecânico nos geossintéticos

De acordo com Santos (2007), o fator de redução devido a danos mecânico torna-se mais difícil de ser estimado devido ao alto envolvimento do fator humano. Esse fator acarreta na introdução de fatores difíceis de serem quantificados, como por exemplo: a desatenção dos funcionários com o manuseio de ferramentas durante a execução da instalação.

O método mais usual para obtenção dos danos em geossintéticos é a utilização de fatores de redução de resistência. Este método consiste em comparar os resultados de resistência à tração de amostras virgens com os resultados obtidos de amostras danificadas.

As amostras de geotêxteis foram ensaiadas no Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília (UnB). Para realização dos ensaios de tração não confinada, foi consultada a NBR 12824 (Figura 6).



Figura 6. Ensaio de resistência à tração de geotêxteis.

3 Resultados Obtidos

3.1 RCD-R

3.1.1 Análise Granulométrica

As curvas de distribuição granulométrica do RCD-R apresentaram-se bastante próximas, o que pode ser explicado pelo fato da usina empregar procedimentos padronizados de reciclagem. Apenas a curva da amostra 3 apresentou uma pequena variação em relação aos demais (Figura 7).

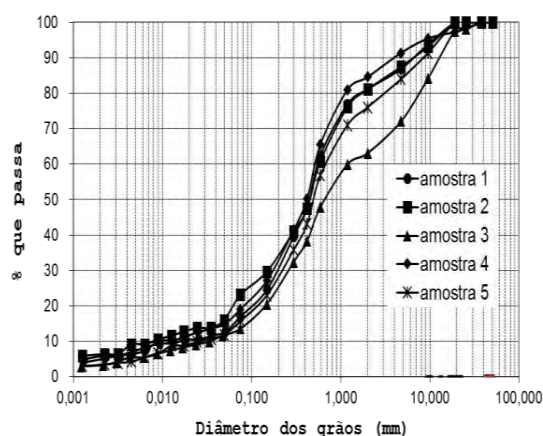


Figura 7. Curvas de distribuição granulométrica do RCD-R.

Observou-se que as amostras apresentaram um alto teor de areia e pedregulhos e um baixo teor de solos finos (argilas e siltes). Este resultado apresenta-se excelente, tendo em vista que o material analisado é usualmente empregado como material de aterro. A Tabela 4 mostra a participação de cada fração de solo na curva granulométrica média do RCD-R.

Tabela 4. Participação média das frações de solo na curva granulométrica média do RCD-R.

	Quantidade média (%)
Pedregulho	15,60
Areia grossa	7,21
Areia média	31,77
Areia fina	31,92
Silte	6,87
Argila	6,63

3.1.2 Coeficiente de variação em função da dimensão dos grãos do RCD-R.

A análise dos valores dos coeficientes de variação (CV) do percentual passante de material em função das aberturas das peneiras (Figura 8) revela, de forma geral, há uma diminuição dos valores de CV à medida que aumentam as dimensões das aberturas das peneiras.

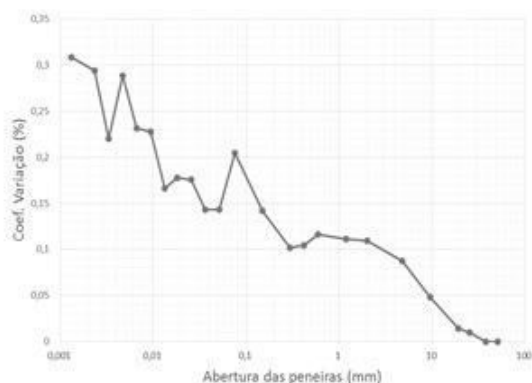


Figura 8. Coeficiente de variação em função da dimensão dos grãos do RCD-R.

3.1.3 Índices de consistência

Foi verificado que os RCD-R analisados possuíam características não plástica. Isso pode apresenta-se como um fator positivo para a aplicação desses materiais em aterro.

3.1.4 Massa específica do RCD-R material passante na #4,8 mm

Os resultados dos ensaios de massa específica dos grãos passantes na peneira de #4,8 mm são apresentados na Tabela 5. O RCD-R apresentou um valor médio igual a 2,691 g/cm³, com um coeficiente de variação igual a 3,03%.

Tabela 5. Resultados dos ensaios de massa específica #4,8mm

Amostra	Massa Específica (g/cm ³)
1	2,607
2	2,664
3	2,813
4	2,642
5	2,731
Média	2,6914
Coef. de var.	3,03%

3.1.5 Compactação

Os resultados dos ensaios de compactação (Proctor Normal) revelaram valores médios de densidade massa seca máxima e umidade ótima iguais a 1,91 g/cm³ e 12,6%, respectivamente, com baixa variabilidade (Figura 9 e Tabela 6).

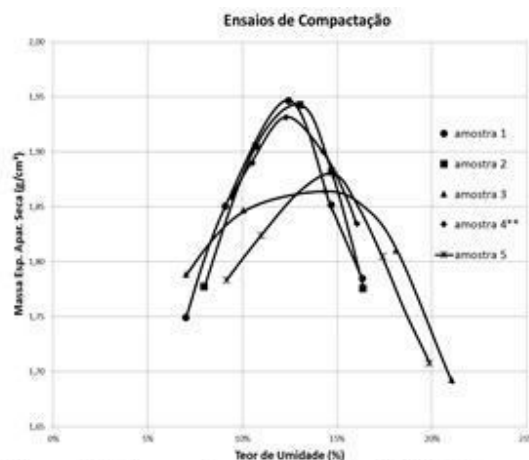


Figura 9. Curvas de compactação do RCD-R.

Tabela 6. Resultados dos ensaios de compactação.

Amostra	Dens. Seca Max. (g/cm ³)	Umidade Ótima (%)
1	1,93	11,91
2	1,94	12,19
3	1,88	12,78
4	1,93	12,32
5	1,87	13,76
Média	1,91	12,59
Coef. de var.	1,70%	5,755%

3.2 Geossintéticos

3.2.1 Dano no geotêxtil de polipropileno (PP).

As curvas carga versus deformação são apresentadas na Figura 10. A Tabela 7 apresenta um resumo dos valores obtidos com as amostras virgens, uma vez que esse cenário foi utilizado como referência para as análises de danos. A Tabela 8 apresenta a variação de resistência das amostras danificadas em relação às amostras virgens.

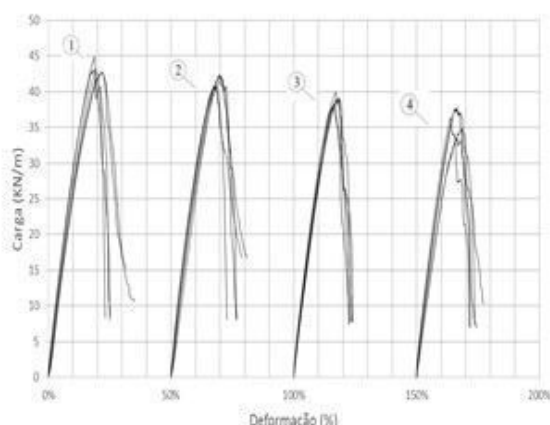


Figura 10. Curva carga versus deformação do geotêxtil de PP (ensaios em faixa larga). Onde: 1- Amostra virgem; 2- Amostra 0m; 3- Amostra 1m; 4- Amostra 2m;

Tabela 7. Resistência à tração das amostra de geotêxtil (PP) virgens.

Amostra	Força (kN/m)
1	42,80
2	43,18
3	44,89
4	42,50
5	42,65
Média	43,20
Coef. de var.	2,26%

Tabela 8. Resistência à tração das amostras de geotêxtil danificadas.

Cenário (m)	Força média (kN/m)	Perca de resistência (%)
0	41,51	3,91
1	38,96	9,81
2	35,97	16,74

Observou-se que o geotêxtil (PP) sofreu danos mecânicos em todos os cenários ensaiados. Contudo a amostra que teve a altura que lançamento igual a 0 (zero), apresentou uma baixa variação de resistência. Entretanto as amostra que tiveram altura de lançamento de 1 m e 2 m apresentaram uma significativa queda na resistência, com as últimas chegando a valores de 16,74%.

3.2.2 Dano no geotêxtil de poliéster (PET) e poliamida (PA).

As curvas carga versus deformação do geotêxtil de PET e PA são apresentadas na Figura 11. A Tabela 9 apresenta um resumo dos valores obtidos com as amostras virgens. A Tabela 10 apresenta a variação de resistência das amostra em relação às amostras virgens.

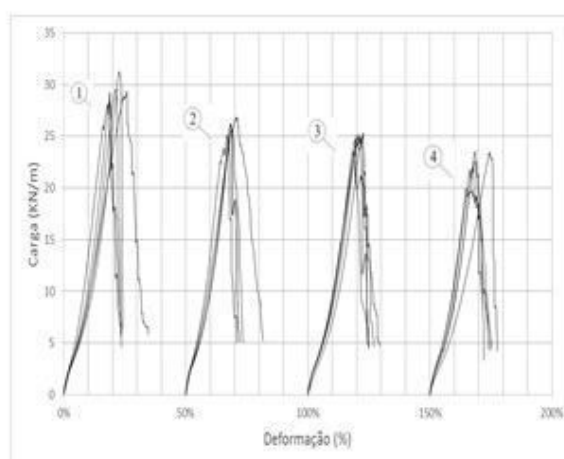


Figura 11. Curva carga versus deformação das amostras de geotêxtil de PET e PA (ensaios em faixa larga). Onde: 1- Amostra virgem; 2- Amostra 0m; 3- Amostra 1m; 4- Amostra 2m;

Tabela 9. Resistência à tração das amostra de geotêxtil virgens.

Amostra	Força (kN/m)
1	29,25
2	28,48
3	29,53
4	31,27
5	29,31
Média	29,57
Coef. de var.	3,49%

Tabela 10. Resistência à tração das amostras de geotêxtil (PET e PA) danificadas.

Cenário (m)	Força média (kN/m)	Perca de resistência (%)
0	26,21	11,36

1	24,56	16,94
2	22,31	24,55

Verificou-se que o geotêxtil (PET e PA) sofreu danos mecânicos em todos os cenários ensaiados. O dano foi crescendo à medida que a altura de lançamento aumentou. As análises revelaram ainda que, mesmo considerando a mesma altura de lançamento do RCD-R, existiram diferenças entre os danos causados nos geossintéticos ensaiados.

No entanto, ressalta-se que os danos verificados neste estudo não inviabilizariam a aplicação dos geotêxteis com RCD-R, uma vez que, determinados os fatores de redução de resistências, isso pode ser incorporado na fase de projeto.

4 Conclusão

A partir dos resultados da investigação de fatores de redução de resistência de geossintéticos em estruturas de solo reforçado executadas com RCD-R, pode-se concluir que:

- O RCD-R apresentou baixa variação nos ensaios de caracterização geotécnica. Vale ressaltar que os resultados obtidos não foram diferentes de pesquisa realizadas anteriormente. Isso indica uma padronização no processo de beneficiamento realizado pela usina recicladora;
- O RCD-R apresentou excelentes propriedades para a sua aplicação em aterros: alto teor de areia e pedregulhos, baixo teor de solos finos (argilas e siltes), e não plasticidade;
- As amostras de geotêxtil submetidas apenas à compactação (cenário 0m), apresentaram em sua maioria uma baixa perda de resistência em relação às amostras virgens;
- As amostras submetidas ao lançamento do RCD-R (cenários 1 e 2m) apresentaram em sua maioria uma maior perda de resistências inicial. Assim é importante considerar a altura de lançamento do RCD-R sobre o material geossintético como uma causa de perda de resistência.
- Entretanto, deve-se atentar para o fato de que este estudo não investigou os eventuais danos que poderiam ser causados pelo uso de equipamentos pesados, o que pode ser considerado em estudos futuros.

5 Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar os agradecimentos à Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, pela bolsa de iniciação científica concedida por meio do PIBIC-POLI (2013-2014). Os autores aproveitam para agradecer também ao Programa de Pós-graduação em Geotecnia da UnB (PPG-UnB), Professor Ennio Palmeira, Professor Jaime Obando, Ciclo Ambiental Ltda e Huesker pelo apoio à pesquisa.

O financiamento do programa de pesquisa descrito nesse estudo tem sido realizado pelo CNPq, FAP-DF, CAPES e Finatec/UnB. Os autores aproveitam para também agradecer às importantes contribuições de Furnas, Embre Engenharia, Reforsolo Engenharia, Original, Huesker, Ober Geossintéticos, Linea G, Torc, Linea Jr, Ascole, Multiserviços and Caenge Ambiental.

Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 19p. Rio de Janeiro, 1986.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. 8p. Rio de Janeiro, 1984.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. 13p. Rio de Janeiro, 1984.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. 10p. Rio de Janeiro, 1986.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12553**: Geossintéticos - Terminologia. 3p. Rio de Janeiro, 2003.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12824**: Geossintéticos: Determinação da Resistência à Tração Não-confinada – Ensaio de Tração de Faixa Larga. Rio de Janeiro, 1993.
- [7] BECKER, L. B. (2006). **Comportamento de geogrelhas em muro de solo reforçado e em en-**

- saio de arrancamento.** Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil. 2006. 322p.
- [8] BS – British Standard (1995). **BS 8006: Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills.**
- [9] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307.** Brasília, 2002.
- [10] Elias, V.; Christopher, B.R.; Berg, R.R. (2001). **Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design & Construction Guidelines.** U.S. Departamento of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-NHI-00-043, 394p
- [11] GUSMÃO, A.D. (2008). **Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil.** Gráfica Editora, Camaragibe, PE, 140p
- [12] SANTOS, E.C.G. (2007). **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de dolo reforçado.** Dissertação (mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 168p.
- [13] SANTOS, E.C.G. (2011). **Avaliação Experimental de Muros Reforçados Executados com Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) e Solo Fino.** Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 214 p.
- [14] SIERIRA, A.C.C.F. (2003). **Estudo Experimental dos Mecanismos de Interação Solo-Geografia.** Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ 363p.
- [15] SOUZA, U.E.L. de et. al.(2004), **Diagnóstico e combate à geração de resíduos na Produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva.** Ambiente Construído, v.4, nº 4, p.33-46.

Inovação na tecnologia construtiva de revestimento com a aplicação da argamassa projetada: caracterização e indicadores

LORDSLEEM JR, A. C.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
acasado@poli.br

MORAIS, G. A. T.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
gabriela_morais@outlook.com.br

Resumo *A mecanização da aplicação da argamassa é uma solução adequada para alcançar elevado desempenho na execução dos revestimentos. Este artigo apresenta pesquisa de estudos de caso realizada em 05 edifícios de 04 canteiros de obras, nas cidades de Recife e Jaboatão dos Guararapes, no Brasil, através da qual foi possível avaliar a perda e o consumo de argamassa, e a produtividade da mão de obra relativa à execução do revestimento interno e externo de argamassa projetada. Diante dos resultados, constatou-se variação de perda de argamassa entre 27,93% e 150,02%, do consumo de argamassa entre 7,51l/m² e 52,91 l/m² e da produtividade da mão de obra de 0,18Hh/m² a 2,06Hh/m², para pedreiros, e 0,48Hh/m² a 0,98Hh/m², para serventes. Como contribuição nessa área de estudo, a metodologia adotada e os valores obtidos servirão de referência para o subsetor de edificações local e parâmetro comparativo para iniciativas semelhantes.*

Abstract *Mechanization the mortar is an appropriate solution to achieve high performance in implementing jackets buildings. This paper shows a research over distinct studies lead in two Brazil's cities: Recife and Jaboatão dos Guararapes, through 05 buildings of 04 sites where was possible to evaluate mortar consumption and losses, besides the labor work productivity relative to the execution of internal and external jet mortar. The results of the case study showed mortar loss variation between 27.93% and 150.02% and mortar consumption variation between 7,51l/m² and 52,91 l/m². The results of labor productivity were 0.18 Mh/m² and 2,06 Mh/m² for mason and were 0.48 Mh/m² and 0.98 Mh/m² for assistant mason. As a contribution in this study area, the standard methodology used and the values obtained shall serve as the initial reference for the Brazilian building construction and local comparative to other initiatives with similar characteristics.*

1 Introdução

Um dos principais desafios experimentados pela construção civil brasileira nesses últimos anos consiste em alinhar a uma maior demanda por obras à necessidade de racionalização dos serviços. A adequação da utilização dos materiais de construção, visando obter uma maior eficiência, diminui o prazo e os custos de execução dos serviços e com isso reduz os desperdícios (PINHO, 2013)^[7].

Os revestimentos de argamassa exercem influência no desempenho e durabilidade da vedação vertical, além de representar parcela expressiva dos custos de uma obra, conforme o seu padrão de acabamento. (ZANELATTO, 2012)^[11].

No Brasil, o sistema de revestimento com uso de argamassa é largamente utilizado. No entanto, problemas como desperdício de material, variabilidade, baixa produtividade e qualidade final do produto (PARAVISI, 2008)^[8], escassez de pessoal e redução dos prazos das obras vêm impulsionando a busca por alternativas tecnológicas que consigam superar as limitações impostas pelo processo construtivo tradicional.

Diante dessa situação, a mecanização da aplicação da argamassa, procedimento comum em países mais desenvolvidos, é citada como a solução mais adequada para alcançar um elevado desempenho na execução do revestimento interno e externo das edificações, garantindo custos e prazos controlados, além de garantia da qualidade final.

A argamassa projetada é um sistema que consiste na aplicação de argamassa através de projetores. Dois tipos de projetores são amplamente utilizados: por bombas e por spray de ar comprimido com recipiente acoplado, mais conhecido como canequinha. A projeção por bomba permite um fluxo contínuo de projeção, o que permite maior qualidade e produtividade. A projeção por canequinha é um método mais simples e de menor custo, além disso, apresenta riscos menores de entupimento e dispensa o uso de argamassas especiais. Porém, como desvantagem apresenta ciclo intermitente de fluxo de projeção, de encher e esvaziar.

A mecanização da aplicação dos revestimentos de argamassa contribui para a racionalização do processo, aumentando a produtividade da mão de obra e diminuindo as perdas de material, e permite que se obtenha energia de aplicação da argamassa constante, o que diminui a variabilidade do material e possibilita potencialização da aderência da argamassa ao substrato em que é aplicada. Tendo em vista que a técnica tradicional de execução dos revestimentos de argamassa é dependente da habilidade da mão

de obra. Segundo Gonçalves e Bauer (2005)^[6], o fator humano é uma das causas da alta variabilidade no processo convencional de produção. Gonçalves (2004)^[5] destacou que ao aplicar manualmente argamassa para revestimento, o operário não consegue lançar argamassa nas partes inferiores e superiores da superfície de aplicação com a mesma força que na altura de seu tórax.

No entanto, ainda que diante de tantos aspectos positivos, poucos são os parâmetros disponíveis que atestam os ganhos em eficiência da projeção mecanizada da argamassa e subsidiem o orçamento, o projeto e a execução do revestimento das edificações. Isso se deve, sobretudo pelo fato da projeção mecanizada da argamassa ter uso ainda incipiente no Brasil, sendo uma inovação tecnológica recente na região Nordeste com reduzido número de empresas usuárias.

Diante desse contexto, a Comunidade da Construção de Recife tem se mobilizado almejando obter melhor desempenho dos métodos construtivos à base de cimento. A Comunidade da Construção é um movimento nacional que busca integrar a cadeia produtiva e aumentar o desempenho dos sistemas construtivos à base de cimento. Lançada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) em 2002, a Comunidade da Construção conta com a parceria dos Sinduscons nas cidades onde atua e a participação de diversas entidades nacionais e locais.

Sob a liderança da ABCP, a Comunidade da Construção tem desenvolvido programas que incentivam a racionalização dos processos construtivos nos seus ciclos de atividades. Os ciclos contemplam atividades de aprimoramento técnico e gerencial ligadas ao tema adotado e têm duração entre 12 e 24 meses.

O 6º ciclo da Comunidade da Construção de Recife contemplou temas como a mecanização de revestimentos com enfoque principal nos revestimentos de argamassa aplicados com bombas de projeção.

Inserido neste contexto, a presente pesquisa foi desenvolvida junto à Comunidade da Construção da ABCP, como parte das ações do 6º ciclo de atividades (2013/2014). Diante disto, implantou-se o Programa de Indicadores de Desempenho para Tecnologias à Base de Cimento (PROGRIDE), no qual as empresas construtoras envolvidas puderam contribuir com seus resultados e informações.

O PROGRIDE foi desenvolvido no âmbito nacional da Comunidade da Construção, sob a liderança da ABCP e tem como objetivos principais a criação e implantação de metodologias de levantamento de indicadores como meio

para aumento da qualidade e da produtividade das construtoras participantes e com isto a disseminação das boas práticas construtivas.

O monitoramento das perdas de materiais e produtividade da mão de obra auxiliam a identificação dos pontos críticos de processos construtivos, sendo uma importante ferramenta para otimizar a eficiência na utilização de materiais e aumentar a produtividade da mão de obra, o que leva a uma redução dos custos de produção.

2 Objetivo

Este artigo tem como objetivo apresentar a pesquisa de estudos de caso em 04 canteiros de obras de edificação vertical, na qual foi possível monitorar os indicadores de consumo e perda de argamassa industrializada e da produtividade da mão de obra na execução do revestimento interno e externo de argamassa por projeção mecânica.

3 Metodologia

A metodologia adotada para a consecução deste trabalho contemplou as etapas:

1. revisão bibliográfica: identificando a literatura sobre mecanização da projeção de argamassa; coleta de perdas, consumo e produtividade e a existência de valores de referência;
2. definição de metodologia de coleta de dados e dos elementos operacionais;
3. pesquisa de estudos de caso: acompanhamento sistemático dos indicadores gerados em 04 canteiros de obras de edifícios multipisos;
4. compilação e análise dos resultados: análise comparativa com os valores de referência.

No item seguinte serão caracterizadas as fórmulas de cálculo e a metodologia de coleta dos indicadores utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

4 Indicadores de perdas e produtividade

Os indicadores implementados na pesquisa e suas respectivas fórmulas de cálculo e metodologia de coleta dos indicadores serão apresentados a seguir:

- 1) **Perda da argamassa industrializada PAI (%)**

$$= [(C_{real} - C_{teórico}) \times 100] \div C_{teórico}$$
Metodologia de Coleta:

Inicialmente, de posse dos dados fornecidos pelo fabricante, foi coletado o valor estabelecido pelo mesmo para o consumo de referência teórico. No primeiro dia da semana de coleta foi feito o levantamento do número de sacos de argamassa estocados no canteiro [EST (VI)] e no último dia, o total de sacos que permaneceram no estoque [EST (VF)], bem como o quantitativo de sacos recebidos ou destinados a outros serviços durante a semana em questão [FORN]. Com base nos valores obtidos, foram calculados os consumos real e teórico de argamassa. No primeiro dia de coleta foi verificado também o serviço de revestimento executado anteriormente ao início do levantamento de dados para que no último dia da semana de coleta fosse verificada área executada apenas no período.

- 2) **Consumo unitário real de argamassa industrializada CUMr (kg/m²) = ARG (kg) ÷ QS (m²)**
Metodologia de Coleta:

Para a determinação do consumo unitário real de argamassa foi necessário contabilizar o total de sacos de argamassa gastos durante uma semana e fazer o levantamento da área executada no mesmo período.

- 3) **Razão Unitária de Produção Semanal RUPsem (Hh/m²) = Hh(s) ÷ QS(s)**
Metodologia de Coleta:

Para determinar a produtividade foi necessário fazer o levantamento da quantidade de serviço executada durante o período semanal, bem como das horas trabalhadas no serviço de emboço pelos serventes e pedreiros.

- 4) **Razão Unitária de Produção Cumulativa RUPcum (Hh/m²) = ΣHh ÷ ΣQS**
Metodologia de Coleta:

A RUP_{cum} é calculada através da razão entre os somatórios dos homens-horas demandados e das quantidades de serviços executadas semanalmente acumulados durante todo o período de estudo. Este dado é computado semanalmente.

- 5) **Razão Unitária de Produção Potencial RUP_{pot} (Hh/m²) = Mediana das RUPsem menores que a RUP_{cum} final**
Metodologia de Coleta:

Segundo Dantas (2011)^[4], a RUP potencial não está associada a cada dia de trabalho, a mesma in-

dica uma produtividade potencialmente alcançável desde que, mantido um determinado conteúdo de trabalho, não se tenha problemas quanto à gestão do mesmo. Obtêm-se matematicamente calculando a mediana dos valores de RUP diária inferiores ao valor da RUP cumulativa para o final do período de estudo.

Para melhor compreensão das fórmulas de cálculo apresentadas, cabe explicar o significado dos seguintes símbolos:

C_{real} = Consumo real [Kg]

$C_{real} = \frac{ARG}{P} = \frac{[EST(VI)] + FORN - [EST(VF)]}{P}$

ARG = Quantidade total de argamassa consumida no período [kg]

$EST(VF)$ = Quantidade de sacos de argamassa no estoque final

$EST(VI)$ = Quantidade de sacos de argamassa no estoque inicial

$FORN$ = Quantidade de sacos de argamassa recebidos entre VI e VF

P = Peso do saco de argamassa [kg]

$C_{teórico}$ = Consumo teórico [kg]

$C_{teórico} = C_{ref} \times e_c \times QS$

C_{ref} = Consumo de referência do fabricante [kg/m²*cm] para 1 cm de espessura da camada de revestimento

e_c = Espessura da camada de revestimento [cm]

QS = Quantidade de serviço [m²]

$QS = \Sigma A_p - \Sigma A_a$

A_p = Área de parede executada (largura x altura) [m²]

A_a = Área de abertura (vãos) [m²]

$Hh(s)$ = Total de Homem horas trabalhadas semanal [Hh]

$QS(s)$ = Quantidade de serviço semanal [m²]

ΣHh = Somatório de Homem hora durante o período de coleta [Hh]

ΣQS = Somatório de Quantidade de Serviço durante o período de coleta [m²]

Nesta pesquisa foram aplicados quatro formulários pertencentes ao Manual de indicadores de Produtividade e Perdas de Processos à Base de Cimento, aprimorados por Pinho (2013)^[7] em parceria com a Comunidade da Construção. O manual visa fornecer informações sobre a metodologia de coleta de dados, caracterizar a empresa, o empreendimento e os serviços em estudo, bem como facilitar o processamento e análise dos dados por parte dos responsáveis pelas coletas (PINHO, 2013)^[7]. Na metodologia deste trabalho, foram aplicados os cadernos de Caracterização da empresa, Caracterização do empreendimento, Perdas de argamassa industrializada – emboço externo e Produtividade de revestimento externo – emboço.

5 Apresentação e análise dos resultados

A caracterização das obras e dos serviços analisados precede a apresentação e análise dos resultados por ser fundamental para compreensão dos mesmos.

As obras foram codificadas por dois caracteres, sendo o primeiro uma letra e o segundo um algarismo. Foram utilizadas as letras B e C, para o caso de aplicação com bomba de projeção e canequinha, respectivamente. Os algarismos, de 1 a 5, identificavam cada uma das obras.

5.1 Caracterização das obras

Os levantamentos de dados em campo foram realizados em 04 canteiros de obras, alguns dos quais com mais de um edifício em construção, pertencentes a 04 diferentes construtoras. As características das obras onde foram realizados os estudos de caso estão especificadas na Tabela 1.

5.2 Caracterização do serviço

Neste item, será caracterizado apenas o serviço de emboço externo em argamassa. O procedimento para a execução do serviço é descrito na sequência:

- 1) Para o início da execução do revestimento foi realizada a limpeza da base e a conferência do prumo da superfície.
O procedimento de revestimento com argamassa é constituído usualmente da execução de três camadas: chapisco, emboço e acabamento;
- 2) A primeira camada executada foi o chapisco, o qual tem a função de regular a absorção de água pela base e criar um substrato de aderência para a fixação da argamassa;

3) A segunda camada executada foi o emboço, o qual é formado por um conjunto de operações, são elas:

- 1ª operação - colocação das taliscas: as taliscas são pequenas peças de material cerâmico colocados sobre a superfície a ser revestida e que servem de referência para o acabamento. O taliscamento foi executado manualmente em todas as obras.
- 2ª operação - execução das mestras: após o taliscamento, o espaço entre as taliscas é preenchido com a mesma argamassa do emboço. Após o endurecimento da argamassa, com o uso de uma régua de alumínio, aprumam-se as mestras, as quais servirão de guia para a execução do revestimento. As mestras foram executadas manualmente em todas as obras.
- 3ª operação – aplicação do revestimento de argamassa: após um tempo mínimo de 24 horas de endurecimento das mestras, executa-se o preenchimento dos vãos entre as mesmas com argamassa de revestimento. Nas obras, a argamassa era misturada em argamassadeiras, no caso de aplicação com canequinha, ou em misturadores contínuos no caso da aplicação mecanizada através de bombas.
- 4ª operação – sarrafeamento: é realizado usando uma régua de baixo para cima, retirando o excesso de material chapado.
- 5ª operação – desempenho: dependendo do acabamento desejado pode-se executar o desempenho da superfície com desempenadeira de mão adequada para cada caso (madeira, aço ou feltro). No caso desta pesquisa, todas as obras utilizaram desempenadeira de aço.

A última etapa da execução do serviço é o acabamento, o qual é realizado após a cura do revestimento. No caso das obras nas quais foram feitos estudos de caso, o acabamento era composto por pintura, cerâmica ou placas de granito. O tempo de espera entre a cura do revestimento e a execução do acabamento, variou de 72hrs, para o caso de revestimento cerâmico, a 15 dias para placas de granito.

Tabela 1. Características das obras.

CARACTERÍSTICAS	OBRAS				
	B1	B2	B3	B4	C5
DURAÇÃO DA OBRA	Março 2012 a Abril 2012	Junho 2012 a Dezembro 2012	Abril 2012 a Setembro 2012	Abril 2012 a Setembro 2012	Junho 2012 a Julho 2012
Nº DE FAIXAMENTOS	12	20	20	20	20
Nº DE UNIDADES	20	20	120	120	20
TIPOLOGIA DA ESTRUTURA	Concreto colado: no loco com laje de concreto	Concreto colado: no loco com laje de concreto	Concreto colado: no loco com laje de concreto	Concreto colado: no loco com laje de concreto	Concreto colado: no loco com laje de concreto
TIPOLOGIA DE REVESTIMENTOS	Emboço, massa fina e pasta	Emboço e massa fina	Emboço e massa fina	Emboço e massa fina	Emboço e massa fina
EMBOÇO	INTERNO*	X	X	X	X
	EXTERNO*	X	X	X	X
	TIPO DE ARGAMASSA	Industrializada	Industrializada	Industrializada	Industrializada
	TIPO DE APLICAÇÃO	Bomba de Projecção	Bomba de Projecção	Bomba de Projecção	Canequinha
INDICADORES ANALISADOS	ESPESURA (cm)	0,7 ± 0,0	4,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0
	PAI (%)	X	X	X	X
	CUMr	X	X	X	X
	RUPsem	X	X	X	X
PRODUTIVIDADE	PRODUTIVIDADE	X	X	X	X
	SEQUESTRAMENTO	X	X	X	X
PERÍODO DE COLETA (SEMANAS)	11	3	2	3	4

*A coleta de amostras em interno e externo se aplica à localização do mesmo nos dados coletados para cada obra.

5.3 Apresentação de resultados

Para o melhor entendimento deste item destaca-se que o valor do consumo unitário de argamassa de referência foi pesquisado entre os fabricantes de argamassa, tendo valor de 17Kg/m² a cada 1cm de espessura da camada de revestimento em todas as obras.

Para expressar os valores de consumo unitário real de argamassa em l/m² considerou-se cada 1Kg/m² de revestimento equivalente a 0,49 l/m² de argamassa.

Os resultados mínimos, máximos, médios e medianos de todos os indicadores coletados estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2. Indicadores coletados.

EMBOÇO		Interno	Externo			
OBRAS		B1	B2	B3	B4	C5
Aplicação		Bomba de Projecção				Canequinha
PAI (%)	Mínima	27,93	28,85	NC	NC	NC
	Média	81,23	41,82	NC	NC	NC
	Máxima	150,02	58,74	NC	NC	NC
	Mediana	71,32	37,87	NC	NC	NC
CUMr (l/m²)	Mínimo	7,51	42,95	NC	NC	NC
	Médio	11,63	47,27	NC	NC	NC
	Máximo	16,67	52,91	NC	NC	NC
	Mediano	11,42	45,96	NC	NC	NC
RUPsem (Hh/m²)	Mínima	0,21	0,7	0,18	0,23	0,43
	Média	0,86	1,44	0,26	0,42	0,71
	Máxima	2,06	1,81	0,34	0,75	1,17
	Mediana	0,69	1,8	0,27	0,37	0,61
RUPcum	Mínima	0,41	0,7	0,18	0,23	0,47

(Hh/m ²)	Média	0,51	1,24	0,22	0,42	0,55
	Máxima	0,58	1,56	0,25	0,49	0,61
	Mediana	0,51	1,45	0,24	0,44	0,56
RUP _{pot} (Hh/m ²)		0,37	0,7	0,18	0,28	0,48

* NC - Dado não coletado

*RUP's de pedreiros

5.4 Análise dos resultados

Neste item foi feita análise dos resultados obtidos em comparação com os valores de referência de outros trabalhos que estudaram o mesmo tema. A análise dos resultados da obra B1 foi feita separadamente das demais obras por ser esta a única onde a localização do revestimento é interno.

5.4.1 Análise dos resultados

A perda de argamassa foi analisada nas obras B1 e B2. A obra B1 teve acompanhamento de 17 semanas, a obra B2 teve acompanhamento de 03 semanas.

5.4.1.1. Análise da perda percentual na obra B1

Os seguintes valores de referência devem ser utilizados para a comparação dos resultados:

- 1) AGOPYAN ET AL (1998)^[1] - pesquisa realizada em 12 obras distintas com perdas de argamassa industrializada no serviço de emboço interno variando entre 5% e 209%;
- 2) BEZERRA E MERGULHÃO (1998)^[2] - pesquisa realizada em 03 obras distintas com perdas de argamassa no serviço de emboço interno variando entre 53,87% e 63,15%.

Pôde-se constatar que a média de perda de argamassa na obra B1 está compreendida no intervalo de valores encontrados por Agopyan et al (1998)^[1] e foi superior aos valores coletados por Bezerra e Mergulhão (1998)^[2]. No entanto, ainda que compreendida entre o intervalo de valores apresentados em pesquisas anteriores, o valor médio e mediano da perda é consideravelmente elevado. Fatores como a falta de revestimento no piso do local onde o emboço era executado, a existência de vigas mais largas que a alvenaria, o desaprumo e irregularidade da alvenaria, a inexistência de política de reaproveitamento da argamassa que cai no chão, o não incentivo à redução das perdas e a baixa capacitação da mão de obra contribuíram para elevar os valores das perdas.

5.4.1.2. Análise da perda percentual na obra B2

Os seguintes valores de referência devem ser utilizados para a comparação dos resultados:

- 1) SOIBELMAN (1993)^[9] - pesquisa realizada em 03 obras distintas com perdas de argamassa industrializada no serviço de emboço externo variando entre 10,5% e 225% e com perda média de 76,5%;
- 2) COSTA (2005)^[3] - pesquisa realizada em 08 construtoras distintas com perdas de argamassa no serviço de emboço externo variando de 66% a 99% com média de 81%.

O valor de perda média percentual encontrado na obra B2 está compreendida no intervalo de valores encontrados por Soibelman (1993)^[9] e abaixo daquele coletado por Costa (2005)^[3]; além disso, foi inferior ao valor determinados pelos referidos autores para perda média.

Fatores como o desaprumo e a pequena extensão da superfície a ser revestida, a inexistência de política de reaproveitamento da argamassa que cai, o não incentivo à redução das perdas e a baixa capacitação da mão de obra contribuíram para elevar os valores das perdas.

5.4.2 Análise do consumo unitário real de argamassa

O consumo unitário real de argamassa foi analisado nas obras B1 e B2, as obras tiveram acompanhamento de 17 e 03 semanas, respectivamente.

5.4.2.1 Análise do consumo unitário real de argamassa na obra B1

Considerando os valores propostos pelo TCPO 14 (PINI, 2012)^[10], que apresenta para o serviço de emboço interno valor de consumo unitário de argamassa mínimo de 7,3l/m², mediano de 21,9l/m² e máximo de 59,3l/m², pode-se verificar que a obra B1 teve valor de consumo mediano inferior e consumo médio bastante próximo ao mínimo proposto pelo TCPO 14 (PINI, 2012)^[10].

5.4.2.2 Análise do consumo unitário real de argamassa na obra B2

Considerando os valores propostos pelo TCPO 14 (PINI, 2012)^[10], que apresenta para o serviço de emboço externo valor de consumo unitário de argamassa mínimo de 20l/m², mediano de 35l/m² e máximo de 66l/m², pode-

se verificar que a obra a obra B2 obteve valores satisfatórios, tendo seu valor médio de consumo próximo ao mínimo estabelecido pelo TCPO 14 (PINI, 2012) ^[10].

5.4.3 Análise da produtividade na obra

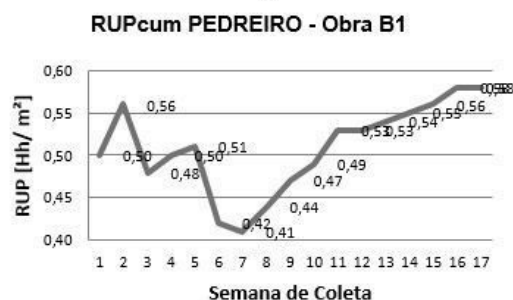
A produtividade da mão de obra foi analisada nas obras B1, B2, B3, B4 e C5, as obras tiveram acompanhamento de 17, 03, 03, 06 e 04 semanas, respectivamente.

5.4.3.1 Análise do consumo unitário real de argamassa na obra B1

Os valores encontrados para as RUP's semanais da obra B1 apresentaram grande variabilidade. Considerando os valores propostos pelo TCPO 14 (PINI, 2012) ^[10], que apresenta para o serviço de emboço interno valor mínimo de produtividade para os pedreiros de 0,41Hh/m², mediano de 0,57Hh/m² e máximo de 0,98Hh/m², verifica-se que apesar de apresentar valores de produtividade bastante superiores ao valor máximo estabelecido pelo TCPO 14 (PINI, 2012) ^[10], as RUP's semanais dos pedreiros se mantiveram satisfatórias na maior parte do período de coleta.

Os resultados apresentados da obra B1 para RUP cumulativa dos pedreiros demonstram que houve uma melhoria na produtividade dos mesmos ao longo das primeiras semanas, no entanto ao longo do tempo houve um aumento da RUP_{cum}, o que demonstra um piora expressiva na produtividade. A RUP_{cum} dos pedreiros está representada no Gráfico 1.

Gráfico 1. RUP_{cum} dos pedreiros na obra B1.



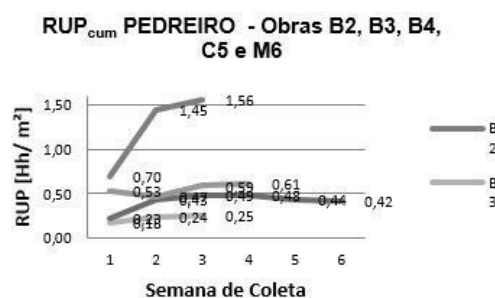
Fatores como a elevada quantidade de retrabalho, o acabamento desempenado, a execução manual dos capiaços e taliscas, problemas na produção da argamassa, a alta rotatividade, o atraso na remuneração e a baixa capacitação da mão de obra contribuíram para piora da produtividade.

5.4.3.2 Análise de produtividade da mão de obra nas obras B2, B3, B4 e C5

Considerando os valores propostos pelo TCPO 14 (PINI, 2012) ^[10], que apresenta para o serviço de emboço externo valor mínimo de produtividade para os pedreiros de 0,40Hh/m², mediano de 0,79Hh/m² e máximo de 2,60Hh/m², pode-se verificar que a obra B2 teve os piores resultados; enquanto, a obra B3 obteve os valores mais satisfatórios. A obra B4 obteve resultados satisfatórios, bem como a obra C5, porém, sendo os valores desta última aquém dos obtidos na obra B4.

Os resultados apresentados para RUP cumulativa dos pedreiros demonstram uma tendência de piora em relação ao tempo. A obra B4 apresenta melhoria de produtividade pouco expressiva. A obra B2 teve os piores resultados em longo prazo. As obras B3 e C5 apresentaram piora na produtividade ao longo do tempo. A RUP_{cum} dos pedreiros no serviço de emboço externo nas obras B2, B3, B4, C5 e M6 está representada no Gráfico 2.

Gráfico 2. RUP_{cum} dos pedreiros nas obras B2, B3, B4 e C5.



Fatores como a execução manual dos capiaços, taliscas e mestras, problemas na produção da argamassa, falta de água, quebra de equipamentos, a alta rotatividade e a baixa capacitação da mão de obra contribuíram para piora da produtividade.

6 Conclusão

A utilização da projeção mecânica da argamassa não provocou redução significativa nas perdas de argamassa e no prazo de execução das obras. Mesmo investindo nos equipamentos necessários para a execução dos revestimentos, as empresas não obtiveram resultados expressivos quanto à eficiência do sistema. O que se deve, sobretudo, à falta de planejamento do processo de produção. No entanto, é difícil mensurar os benefícios obtidos em função da maior qualidade do produto proporcionada pelos sistemas mecanizados de projeção.

A metodologia proposta neste artigo constitui-se uma ferramenta auxiliar na avaliação quantitativa da tecnologia construtiva de revestimento com a aplicação da argamassa projetada, permitindo ao usuário analisar os parâmetros para utilizar a projeção de argamassa na construção civil.

A aplicação da metodologia apresentada nesta pesquisa permitiu às empresas construtoras envolvidas, visualizar a ocorrência de perdas através dos indicadores de desempenho aplicados e observarem a necessidade de mudanças com vistas a alcançar a racionalização dos serviços.

Referências

- [1] AGOPYAN, V. et al. Pesquisa: **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras**. Relatório final. EPUSP/FINEP/ITQC, 1998.
- [2] C. S. B. Bezerra; R.A. C. Mergulhão. Aspectos qualitativos e quantitativos das perdas de materiais empregados no revestimento com argamassa produzido nas obras. In: XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Niterói, 1998. **Anais...** Niterói, 1998.
- [3] COSTA, F. N. **Processo de Execução de Revestimento de Fachada de Argamassa: Problemas e Oportunidades de Melhoria**. 2005. 195 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.
- [4] DANTAS, J.D.F. **Produtividade da mão de obra - Estudo de caso: métodos e tempos na indústria da construção civil no subsetor de edificações na cidade de João Pessoa- PB**. 2001. 68p. Tese de Conclusão de Curso – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2011.
- [5] GONÇALVES, S. R. de C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – estudo de caso**. 2004. 148p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília.
- [6] GONÇALVES, S. R. de C.; BAUER, E. Estudo de caso da variação de resistência de aderência à tração em uma parede. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005. **Anais...** Florianópolis, 2005, p. 562-567.
- [7] PINHO, S.A.C. **Desenvolvimento de programa de indicadores de desempenho para tecnologias construtivas à base de cimento: perdas, consumo e produtividade**. 2013. 268p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco. Recife, 2013.
- [8] PARAVISI, S. **Avaliação de sistemas de produção de revestimento de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa**. 2008. 179 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.
- [9] SOIBELMAN, L. **As perdas de materiais na construção de edificações: sua incidência e seu controle**. Porto Alegre, 1993. 127p. Dissertação (Mestrado em engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [10] TCPO. **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos**. 14. ed. São Paulo: Pini, 2012. ISBN 978-85-7266-251-2
- [11] ZANELATTO, K.C. **Avaliação da influência da técnica de execução no comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua**. 2012. 142p. Dissertação (Mestrado) - [Escola Politécnica](#), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

Modelagem conceitual de bancos de dados espaciais para análise geotécnica

Amorim, J. L. G.
Escola Politécnica de
Pernambuco
Universidade de Pernam-
buco
50.720-001 - Recife, Bra-
sil

Moura, A. R. L. U.
Escola Politécnica de Per-
nambuco
Universidade de Pernam-
buco
50.720-001 - Recife, Brasil

Gusmão, A. D.
Escola Politécnica de Per-
nambuco
Universidade de Pernam-
buco
50.720-001 - Recife, Brasil
gusmao.alex@ig.com.br

Alves, F. P.
Escola Politécnica de Per-
nambuco
Universidade de Pernam-
buco
50.720-001 – Recife, Brasil

Resumo

As informações referentes ao espaço geográfico são necessárias às atividades que estão relacionadas à engenharia, pois interferem no desempenho e custo de uma obra, e ao meio ambiente, na avaliação de problemas de risco geológico. O conhecimento do solo e suas características, poderá influenciar na escolha do tipo de fundação ou em outras decisões a serem tomadas em relação ao uso e ocupação do solo. Dessa forma, a realização de uma análise espacial em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que integre informações do subsolo aos problemas causados pela ocupação, poderá contribuir para a diminuição do custo das obras, de impactos ambientais e de riscos nos empreendimentos. Este artigo apresenta a modelagem conceitual de dados espaciais, dando ênfase apenas a descrição do diagrama de classes, utilizando o modelo OMT-G, que provê primitivas para modelar a geometria, além de fornecer representações de objetos e relacionamentos espaciais.

Abstract

Information related to the geographical space are necessary for activities linked to engineering, due to interference on performance and general costs of a construction, as well as the environmental aspects associated to evaluation of geological hazards. The knowledge of soil and its characteristics may influence the choice of a type of foundation or other decisions need to be taken in accordance to the land use and occupation. Thus, the conduction of a spatial analysis on a Geographic Information System (GIS) that integrates subsoil's information and problems generated by land use can contribute to the reduction of constructions' costs, environmental impacts and project risks. This articles presents and conceptual modelling of spatial data, emphasizing the description of the class diagram, using the OMT-G Model, which provides primary information to model the geometry and to provide representations of objects and spatial relationships.

1 Introdução

O Município de Recife apresenta uma população de 1.537.704 hab., distribuídos em uma área de 218 km² [14], que cresceu sem levar em consideração os condicionamentos do meio físico. Como consequência, trouxe problemas que se caracterizam de risco geológico, tais como deslizamentos, subsidência de aterro, uso de água subterrânea, inundação, erosão marinha e sedimentação [12] [13]. Sua geologia consiste em planície flúvio-marinha, depósitos de mangues, sedimentos flúvio-lagunares e aluviões recentes, que representa um subsolo típico muito variado [1]. Sob o ponto de vista Geotécnico, apresenta grande complexidade, pois é considerada uma das capitais brasileiras mais difíceis de trabalhar o solo e subsolo, por ser uma área de formação sedimentar composta por espessos depósitos de argila mole e ter grande parte de seus espaços sobre aterros [9]. Tais fatores levam ao entendimento de que a prática atual de fundações no Recife é fortemente direcionada pelas características geológico-geotécnicas do subsolo [10] [11].

Na engenharia, algumas características inerentes ao meio físico podem interferir no desempenho e custo de uma determinada obra. Por isso, o conhecimento do solo e de suas características, irá influenciar na escolha do tipo de fundação ou em outras possíveis decisões a serem tomadas em relação à ocupação do solo. Estudos mostraram que o uso da análise espacial que integra informações do subsolo aos problemas causados pelo uso e ocupação do espaço físico, contribuiu para a diminuição de impactos ambientais e de riscos nos empreendimentos [15] [8] [16].

As análises espaciais são realizadas a partir de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), capaz de coletar, armazenar, recuperar dados e oferecer mecanismos para combinar as várias informações, por meio de algoritmos [4], além de armazenar atributos alfanuméricos e geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos [6].

A disponibilização e a organização sistemática e periódica dos dados de solo e subsolo da cidade do Recife, armazenados em um SIG, podem facilitar a execução de futuros projetos de fundações, além de minimizar os custos e os riscos nos empreendimentos.

Para a criação de um SIG é importante a etapa de modelagem desses dados, que consiste na abstração de objetos e fenômenos do mundo real, para que possam ser representados adequadamente, em um sistema informatizado.

Nesse contexto, este artigo apresenta como objetivo a modelagem conceitual de dados espaciais, utilizando o modelo OMT-G para definir o diagrama de classes para o

banco de dados geotécnico. O modelo OMT-G, descrito pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE [5] [2], utiliza as primitivas da UML e incorpora novas primitivas que permite estruturar banco de dados geográficos. Essa modelagem ajudará na estruturação e definição das operações em um banco de dados, que integrado a um SIG, atuará na gestão da informação geotécnica da cidade do Recife.

2 Fundamentos Teóricos

2.1 Modelagem de dados espaciais

Um modelo de dados é um conjunto de conceitos usados para descrever a estrutura e as operações em um banco de dados. Dessa forma, a modelagem envolve a abstração dos objetos e fenômenos do mundo real, para obter uma forma de representação simplificada e que seja adequada às finalidades das aplicações do banco de dados [3]. Modelar o mundo real e transportar para um sistema informatizado é uma tarefa complexa, pois envolve a discretização do espaço, como parte do processo de abstração. Nessa etapa, são considerados: (a) diferentes níveis de abstração, onde a realidade é moldada através de conceitos geométricos; (b) a forma como as pessoas percebem o espaço, que depende da experiência e da necessidade específica do observador e escala de representação; (c) natureza diversificada de dados espaciais, que além da geometria, localização no espaço, informações associadas e características temporais, podem prover de origens distintas, a exemplo de dados ambientais, que são derivados de dados de topografia, propriedade do solo etc. e (d) relações espaciais, que são abstrações que ajuda a compreender como os objetos se relacionam com os outros, no mundo real [2].

Para aplicações geográficas, a abstração de conceitos e entidades existentes no mundo real representa uma etapa relevante da implementação de um SIG. Ademais, a eficácia dessa implementação, depende da qualidade da transposição de entidades do mundo real e suas interações, para um banco de dados informatizado [5].

São quatro os níveis de abstração, representados na Fig.1: (a) Nível do mundo real, que contém os fenômenos geográficos reais, como rios, ruas, cobertura vegetal; (b) Nível de representação conceitual, que fornece um conjunto de conceitos com os quais as entidades geográficas podem ser modeladas da forma como são percebidas pelo usuário, em um alto nível de abstração; (c) Nível de apresentação, que oferece ferramentas para especificar os diferentes aspectos visuais que as entidades geográficas podem assumir em aplicações e (d) Nível de implementação, que define padrões, formas de armazenamento e estrutura de dados para implementar cada tipo de entidade [2].



Fig. 1 - Níveis de abstração de aplicações geográficas
Fonte: adaptado de [3].

2.2 O modelo OMT-G

O OMT-G (*Object Modeling Technique for Geographic Applications*) é um modelo de dados orientado à objeto, que parte das primitivas definidas para o diagrama de classes da *Unified Modeling Language* (UML) [18] e introduz primitivas geográficas baseadas nos conceitos básicos de classes, relacionamentos e restrições de integridade espacial, para melhorar a capacidade de representação [2]. Atua nos níveis de representação conceitual e de apresentação (Fig. 1).

O diagrama de classes é usado para descrever a estrutura e o conteúdo de um banco de dados espaciais. Nele estão inseridos apenas regras e descrições que definem, conceitualmente, como os dados serão estruturados. As classes definidas pelo modelo OMT-G podem ser georreferenciadas, que descreve um conjunto de objetos representados espacialmente e associados a regiões da superfície da terra; ou convencionais (não-espaciais), que não possuem propriedades geométricas, porém, apresentam comportamentos, relacionamentos e alguma relação com os objetos espaciais [2]. A distinção entre ambas as classes permite o compartilhamento de dados não espaciais em aplicações diferentes, facilitando a integração e reutilização de dados [7].

A classe georreferenciada pode ser do tipo geocampo, que representam objetos e fenômenos distribuídos espacialmente de uma forma contínua [7], e do tipo geo-objeto, quando representam objetos geográficos individualizados, que fazem parte do mundo real. O modelo OMT-G define

cinco classes descendentes de geo-campo: isolinhas (linhas onde todos os pontos que as compõem possuem o mesmo valor da variável contínua), subdivisão planar (a área de estudo é dividida em regiões segundo um critério de classificação), tesselação (a área é subdividida em células de igual tamanho, na qual é realizada a medição da variável), amostras (representam pontos amostrais da variável contínua) e malha triangular TIN (a partir de isolinhas ou amostras é gerada uma superfície interpolada composta por triângulos irregulares) [17].[2].

São definidas duas classes descendentes de geoobjetos no OMT-G: com geometria e com topologia. A classe do tipo geo-objeto com geometria refere-se à objetos apenas com propriedades geométricas, com classes representadas por ponto, linha e polígono. Já a classe geo-objeto com geometria e topologia, possuem propriedades geométricas e de conectividade topológica, específica para representação de estruturas em redes, e suas especializações são denominadas arco unidirecional, arco bidirecional e nó de rede [2].

Existem várias possibilidades de conceito para uma mesma entidade do mundo real. A exemplo do relevo, que pode ser representado espacialmente por amostras (pontos cotados), por isolinhas (curvas hipsométricas) ou por tesselação (matriz de pixel obtida por interpolação) [17]. Na representação dos conceitos sobre o mundo real no SIG, as entidades podem estar no formato vetorial (define pontos, linhas e áreas por conjuntos de coordenadas) ou matricial (área é dividida em uma grade de células regulares - *pixels*). Os atributos e as operações são especificados para cada classe, no interior do retângulo, conforme apresentado na Fig. 2.

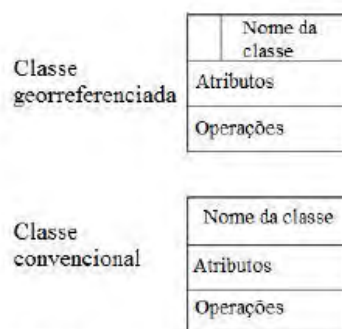


Fig. 2 - Notação gráfica para as classes do modelo OMT-G [2].

O modelo OMT-G considera as relações espaciais e não espaciais na modelagem do espaço. São representados três tipos relacionamentos entre as classes: associações simples (relacionamentos estruturais entre objetos de clas-

ses diferentes, convencionais ou georreferenciadas); relacionamentos espaciais (relações topológicas, métricas, de ordem e fuzzy) e relacionamentos topológicos em rede (entre objetos que estão conectados uns com os outros) [2]. Existem as chamadas relações 'explícitas', que devem ser especificadas pelo usuário, para permitir que o sistema armazene e mantenha atualizada uma dada informação [2].

Algumas relações espaciais são possíveis apenas entre determinadas classes, pois dependem da sua geometria. O processo de generalização e especialização definem classes a partir de outras classes. As abstrações de generalização e especialização no modelo OMT-G, se aplicam às classes georreferenciadas e convencionais (nãoespaciais) e seguem a notação na UML, onde um triângulo conecta a superclasse às suas subclasses. Cada generalização pode ter um discriminador associado, que indica qual propriedade ou característica está sendo abstraída pelo relacionamento de generalização [2] [3].

Uma forma especial de associação entre objetos é a agregação, que considera que um objeto é formado a partir de outros. Nesse caso, uma agregação pode ocorrer entre classes convencionais, entre classes georreferenciadas (necessário usar agregação espacial) e entre uma classe convencional e uma georreferenciada. Numa agregação espacial são explicitados relacionamentos "todo-parte", onde são impostas restrições de integridade espacial do objeto agregado e dos sub-objetos [2].

3 Metodologia

O método utilizado para a modelagem de dados espaciais foi baseado no modelo conceitual OMT-G descrito por Borges *et al.* [2], a qual refere-se às entidades envolvidas dentro de um projeto específico e seus relacionamentos. A importância de um modelo de dados é ter um entendimento mútuo a respeito dos dados, que posteriormente vão estar organizados dentro de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD). É no nível de implementação, onde são encontradas as linguagens de definição de dados associadas a SGBD espaciais. Apesar de não ser abordado o nível de implementação neste trabalho, é importante enfatizar que a modelagem conceitual apresenta a vantagem de ser independente do software SIG e do SGBD, que serão utilizados numa etapa posterior, referente a construção do banco de dados espaciais (conjunto de dados inter-relacionados) e sua implantação no SIG.

3.1 Identificação das entidades e relacionamentos espaciais

Para a gestão da informação geotécnica do município do Recife, foi realizado o levantamento dos dados espaciais

e não espaciais que serão importantes para serem representados no SIG. A partir da análise de documentos disponíveis, tornou-se possível:

- selecionar os objetos e fenômenos (entidades) do mundo real, que irão constituir as classes de objetos;
- definir as representações dessas entidades espaciais e como estas serão visualizadas, de acordo com o modelo OMT-G;
- identificar os tipos de relacionamentos existentes entre as classes de objetos, especialmente, o relacionamento espacial, a agregação espacial e a generalização espacial e convencional.

Os dados de perfis geotécnicos (tipo de solo, NSPT), executados para cada edificação e dados de fundação (tipo e solução de fundação) foram repassados pela empresa Gusmão Engenheiros Associados Ltda. Dados referentes às ortoimagens e à base cartográfica dela obtida, assim como o Modelo Digital do Terreno, foram cedidas pela Prefeitura Municipal do Recife (PMR). Já o mapeamento geológico foi fornecido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

3.2 Diagrama de classes

As classes de objetos foram definidas a partir da lista de entidades espaciais. Foi elaborado o diagrama de classes com as descrições que definem conceitualmente como os dados serão estruturados, incluindo a informação do tipo de representação que será adotado para cada classe, baseado nas primitivas do modelo OMT-G, conforme apresentado na Fig. 3.

Nesta modelagem não foi incluída a classe geoobjeto com topologia, por não haver necessidade de representar a localização geográfica e conectividade entre objetos, no caso específico desse estudo. Nas classes geo-campo e geo-objeto com geometria, cada objeto poderá ou não ter atributos não espaciais associados.

4 Resultados

Como o modelo OMT-G é baseado na orientação à objeto, toda a informação geográfica pertencerá a classe de Banco de Dados Geotécnico. De acordo com as classes georreferenciadas, definidas no modelo OMT-G, foram estabelecidas para este estudo as classes que representam a distribuição espacial de uma variável contínua, do tipo geo-campo, como sendo: TIN (rede triangular irregular) - Modelo Digital do Terreno (MDT); Amostras - perfil geotécnico; Subdivisão planar - os mapas temáticos (Geológico,

Geotécnico, Uso e ocupação do solo); Isolinha – curvas de nível e Tesselação - ortoimagens (Fig. 4).

A classe do tipo geo-objeto representou os objetos que possuem propriedades geométricas, ou seja, apenas a localização geográfica dos seus limites, e foram descritos como: Ponto - fundação, tipo de fundação, solução de fundação; Linha - hidrografia; Polígono: quadra, lote e edificação (Fig. 5).



Fig. 5 - Descrição dos geo-objetos sem topologia, estabelecidos.

No modelo OMT-G, os relacionamentos por associações simples são indicados por linhas contínuas, enquanto relacionamentos espaciais são indicados por linhas pontilhadas. este último, indicado na Fig.6. Tal representação facilita a distinção visual entre os relacionamentos baseados em atributos alfanuméricos e baseados na localização e forma geométrica dos objetos [2]. O relacionamento espacial, que considera a relação entre duas classes georreferenciadas, foi levado em consideração na interação entre classes para o caso em que um lote contém edificações (Fig. 6).

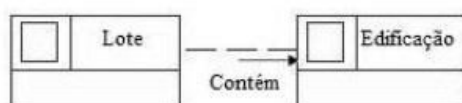


Fig. 6 - Relacionamento espacial entre classes de objeto Edificação e Lote.

Para a classe perfil geotécnico, a relação espacial foi definida por agregação entre classes georreferenciada e convencional (Fig. 7). A espessura da camada de solo, o tipo de solo e valor do NSPT, que constituem as classes convencionais, são atributos da classe georreferenciada, pois representam as características de cada perfil geotécnico.

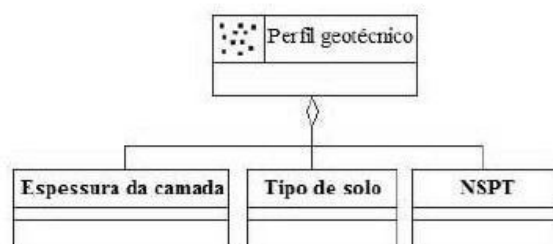


Fig. 7 - Agregação entre classes georreferenciada e convencional.

A agregação entre classes georreferenciadas foi considerada como uma forma especial de associação entre objetos ("todo-parte"), onde a quadra é formada a partir dos lotes (Fig. 8).



Fig. 8 - Agregação espacial.

Utilizou-se a abstração de generalização espacial para classes georreferenciadas, em que um triângulo conecta a superclasse fundação às subclasses fundação rasa e fundação profunda (Fig. 9). Este processo caracteriza-se pela definição da classe mais genérica (superclasse) a partir de classes com características semelhantes (subclasses). Foi definido um discriminador - tipo de fundação - como indicação das propriedades ou características que estão sendo abstraídas pelo relacionamento. Neste caso, essas características estão representadas pelos dois tipos de fundações, a rasa e a profunda.



Fig. 9 - Generalização espacial.

Observa-se na Fig.10 que para cada tipo de fundação, foi considerada uma generalização nãoespacial, que utiliza como discriminador - solução de fundação. Esta relação é considerada uma generalização *total*, pois a união de todas as instâncias das subclasses, representadas pelas diversas soluções de fundação, equivale ao conjunto completo de instâncias da superclasse, representa pelas fundações rasa e profunda.

As soluções de fundação rasa como sapata (areia e brita, sapata (com argamassa), sapata e radier representam as características que definem os atributos da superclasse fundação rasa. Assim como, estacas prêmoldada, hélice contínua, metálica, Franki e raiz, representam os atributos da superclasse fundação profunda.

Como resultado da modelagem conceitual, utilizando o modelo de dados orientado à objeto OMTG, é apresentado o diagrama de classes do Banco de Dados Geotécnico, indicado na Fig. 11.

Os resultados apresentados neste artigo foram gerados utilizando a plataforma UML/MDA StarUML, que consiste em uma ferramenta de modelagem UML, para criar projetos de software, desde os conceitos básicos, até a solução codificada. Nesta ferramenta, o uso do padrão modelo de unidade de Arquitetura (MDA), possibilita uma modelagem complexa [19].

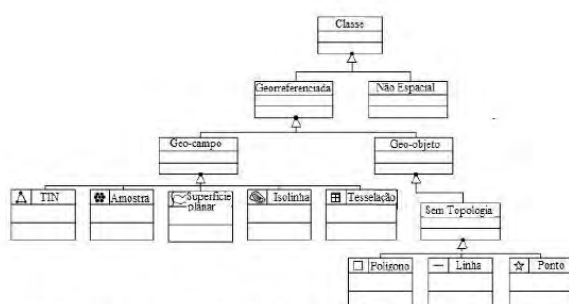


Fig.3 - Classes de geo-campos e geo-objetos definidas pelo modelo OMT-G. Fonte: adaptado de [17].

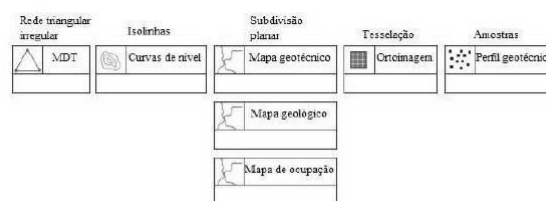


Fig. 4 - Descrição dos geo-campos definidos para a modelagem.



Fig.10 - Generalização não-espacial total.

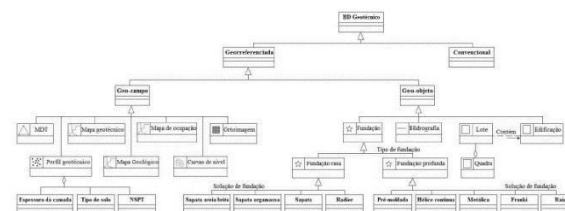


Fig. 11 - Diagrama de classes para o banco de dados geotécnico, obtido a partir da modelagem conceitual.

5 Conclusão

A importância do modelo conceitual de dados espaciais, dentro do projeto de Sistema de Informações Geográficas, é que todos os envolvidos com o projeto poderão ter a mesma visão da aplicação realizada. A utilização da modelagem conceitual OMT-G, garantiu a homogeneização dos dados espaciais, atendendo aos requisitos de clareza e facilidade de uso para descrever diagrama de classes do banco de dados geotécnico.

Apesar de ser muito complexo abstrair a realidade e moldá-la através de conceitos geométricos, a qualidade da transposição das entidades do mundo real em um alto nível de abstração para um banco de dados informatizado, irá garantir a eficiência da implementação dessas entidades em um SIG.

Este trabalho propôs uma modelagem conceitual dos dados espaciais, dando ênfase apenas a descrição do diagrama de classes. Torna-se portanto, necessária a definição dos diagramas de transformação e apresentação para que seja possível uma estruturação adequada do banco de dados geotécnico.

Referências

- [1] Alheiros, M. M.; Menezes, M.F.; Ferreira, M.G. *Carta Geotécnica da Cidade do Recife*, Sub-

- Área Geologia/Geologia de Engenharia, Relatório Final de Atividades. FINEP/UFPE, 81 p., 1990.
- [2] Borges, K.A.V.; Davis JR, C. A.; Laender, A.H.F. Modelagem conceitual de dados geográficos. Casanova, M.A. *et al.*, *Banco de dados geográficos*. Curitiba, *Mundogeo*, p. 93-146, 2005.
- [3] Borges, K.A.V.; Davis JR, C.A.; Laender, A.H.F. OMTG: an object-oriented data model for geographic applications, *GeoInformatica*, v.5, n.3, p. 221-260, 2001.
- [4] Burrough, P. A. Principles of Geographical Information Systems for landresources Assessment. Clarendon Press, Oxford, 193p, 1986.
- [5] Câmara, G. Representação computacional de dados geográficos. Casanova, M.A. *et al.*, *Banco de dados geográficos*. Curitiba, *MundoGEO*, 2005.
- [6] Câmara, G.; Medeiros, C. B.; Casanova, M. A.; HEMERLY, A.; MAGALHÃES, G. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. Escola de Computação, SBC, 1996.
- [7] Câmara, G.. Modelos, linguages e arquiteturas para banco de dados geográficos. São José dos Campos: INPE, 1995. Tese de doutorado, 1995.
- [8] Diniz, N. C. Cenários de Geoindicadores para Avaliação Ambiental em SIG e Base de Dados Geoambientais. In: Indicadores de sustentabilidade para la industria extractiva minera, Carajás, 2002.
- [9] Gusmão, A. D.; Coutinho, R. Q.; Maia, G. de B.; Oliveira, P. E. S.; Amorim, M. D.; Silva, L. I.; Rolim, M.; Barbosa, V.; PEZO, O. B. Estudo Comparativo de Métodos de Melhoramento de Solos no Recife. In: SEFE7 – Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, 2012, São Paulo. SEFE7 - Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, 2012.
- [10] Gusmão, A. D. Prática de fundações no Recife. In: *Geotecnia no Nordeste*. 1ed. Recife: Ed. Universitária UFPE, v. 1, p. 225-246, 2005.
- [11] Gusmão Filho, J. A. Solos - Da Formação Geológica ao Uso na Engenharia. 01. ed. Recife: Ed. Universitária UFPE, v. Único. 198p., 2002.
- [12] Gusmão Filho, J. A. A Experiência em Encostas Ocupadas do Recife: Integração Técnica, Institucional e Comunitária. Rev. IG. São Paulo, Volume Especial p. 9-22, 1995.
- [13] Gusmão Filho, J. A. O risco Geológico no Recife. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7º, Poços de Caldas, MG, ABGE. Mesa Redonda sobre risco geológico, Anais. V. 3 (no prelo), 16p, 1993.
- [14] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Projeto Mudança do Referencial Geodésico - PMRG. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 01 set. 2014.
- [15] Pina, B. e Jeremias, F. Aplicação de um SIG à Informação Geológico-geotécnica obtida no reconhecimento do local do NAL-CTA. E-Terra, Revista Electrónica de Ciências da Terra, Volume 22 – nº 8 | 2010.
- [16] Prandini, F. L.; Nakazawa, V. A.; Freitas, C. G. L.; Diniz, L. C. Cartografia Geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente, ABGE/IPT, São Paulo, ABGE, p.187-202, 1995.
- [17] Ramos, J. A. S. Banco de Dados Geográficos. Minicurso. *MundoGEO*, 2014.
- [18] Rational Software Corporation, 1997, *The Unified Modeling Language: notation guide*, version 1.1.
- [19] StarUML. Site da Internet: <http://staruml.sourceforge.net>, visitado pela última vez em 18/09/2014

Influência de Aditivo Retardador de Pega na Argamassa de Gesso

Mesquita, L. S. P.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
luis.sergio@hotmail.com

Póvoas, Y. V.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

A utilização do gesso na construção civil vem tendo um crescimento exponencial devido a sua alta qualidade, baixo custo e facilidade de manuseio. O objetivo desta pesquisa é estudar uma forma de reaproveitamento deste resíduo na própria obra, calcinando-o e realizando sua mistura com pasta de gesso e retardador de pega, visando verificar as alterações que ocorrem em suas propriedades mecânicas e no tempo de utilização, buscando a redução de custos com o descarte e a minimização do impacto ambiental. Como metodologia, o gesso e o resíduo foram caracterizados de acordo a NBR 13207 (ABNT, 1994) [1] e, utilizando-se um calorímetro de condução isotérmica, foram avaliados os tempos de pega e o tempo de utilização, por meio do calor de hidratação. Para tanto, houve substituição do gesso por resíduo de gesso calcinado em várias proporções.

Abstract

The use of gypsum in construction presents an exponential growth because of its high quality, low cost and easy handling. This research aims to study a form to reuse the plaster waste at the construction site. The calcination of the residue and the mixture with the plaster was done using or not the setting retardant to verify the changes in the mechanical properties and the handle time, seeking to reduce cost of disposal and minimization of environmental impact. For this, the plaster and the residue were characterized according to NBR 13207 (ABNT, 1994). It was used, also, an isothermal calorimeter conduction to study the setting time and the handle time by the heat hydration. For this purpose, the gypsum was replaced of calcined plaster residue in some proportions.

1 Introdução

O crescimento econômico experimentado pelo País nos últimos 15 anos teve como um de seus alicerces a construção civil. Em 2011, o setor representou 5% do PIB, ultrapassando pela primeira vez os R\$ 200 bilhões de faturamento. No entanto, nem sempre foi tão bem assim. O setor passou por um período de recessão. A partir de meados do ano 2000, o cenário começou a mudar. O aumento da renda da população e iniciativas públicas como o Minha Casa Minha Vida também tiveram sua influência. Nos últimos quatro anos a construção civil brasileira viveu um dos melhores momentos de sua história. São Paulo, que tem um dos m² mais caros da América Latina, apresenta valorização anual de quase 20%. Para 2014, a previsão é que o país cresça 2,5% e com isso a construção civil atinja o crescimento de 2%, segundo o Sinduscon-SP (AYRES, 2013) [2].

Com toda a agitação do mercado para construir e vender começou a existir a preocupação em utilizar materiais mais baratos e com uma maior facilidade de aplicação. Nesse aspecto o gesso destacou-se, pois ele é visto como uma excelente alternativa para as construtoras, devido a sua alta qualidade, seu baixo custo, e sua facilidade de manuseio, assim gerando uma maior produtividade por parte dos aplicadores.

O Brasil está entre os 10 maiores produtores de gesso mundial. Em 2012 foi produzido 3,7 milhões de toneladas no país, que representa 2,5% da produção mundial. Da produção de gesso natural brasileira, 89,5% é produzida na região do Araripe, em Pernambuco. O polo gesseiro oferece cerca de 13.200 empregos diretos e aproximadamente 60.000 indiretos, e possui um faturamento anual de US\$ 364 milhões/ano (DNPM, 2013) [3].

Devido a esse aumento no setor, houve um aumento substancial na geração de resíduos em obras, em especial do gesso, pois sua alta velocidade de endurecimento e a falta de capacitação aos profissionais que trabalham com o produto acarretam em um grande desperdício. Estima-se que o índice de desperdício seja de 45% do gesso utilizado (GUSMÃO, 2008) [4]. Esse gasto exagerado leva ao aumento considerável do custo, já que o descarte necessita de um local adequado para que não contamine o solo. Em Recife o gesso corresponde a 4% do volume de resíduo da construção civil, cerca de 50 m³ diários (RIBEIRO et al., 2013) [5].

Em 2011, por meio da resolução Nº 431, o CONAMA [6] reclassificou o gesso como resíduo de classe B, significando que ele pode ser reciclado para outras destinações. Com o intuito de diminuir os gastos com a destinação adequada dos resíduos e de proteger o meio ambiente, se faz

necessário o estudo de formas de reutilizar e reciclar resíduos dentro da construção civil. Esta pesquisa tem por objetivo avaliar a influência do retardador de pega – citrato de sódio, na pasta de gesso com resíduo de gesso calcinado.

2 Revisão Bibliográfica

A geração de resíduo de gesso vem sendo motivo de várias pesquisas nos últimos anos. Esta pesquisa tem como base os estudos de Schmitz; Póvoas (2009) [7], Cavalcanti et al. (2012) [8], Pinheiro (2011) [9] e Alves et al. (2012) [10].

Na pesquisa de Schmitz; Póvoas (2009) foi adicionado o resíduo com dimensão máxima de 0,6mm nos teores de 0%, 5% e 10% à pasta de gesso destinada ao revestimento interno de parede e verificou-se por meio de vários ensaios um resultado positivo no desempenho geral do material. No entanto, houve uma considerável redução no tempo útil de aplicação deste revestimento. Segundo Pinheiro (2011), a reciclagem é um conjunto de processos, onde ocorre a moagem, a retificação granulométrica e a calcinação. Cavalcanti et al. (2012) constatou que a composição granulométrica do resíduo interfere nas características físicas e mecânicas da pasta de gesso. Ao fim deste estudo foi verificado que uma composição granulométrica uniforme obteve os melhores resultados.

Para a calcinação, Pinheiro (2011) submeteu o resíduo de gesso produzido em laboratório à desidratação em diferentes temperaturas e tempos. Foram adotadas as seguintes temperaturas para análise das condições de calcinação do resíduo de gesso, 120°C, 150°C e 200°C e os tempos de permanência de 1, 2, 5, 8, 16 e 24 horas, recuperando parte de suas propriedades físicas e mecânicas, voltando a sua forma comercial. A autora conclui que o resíduo de gesso na construção civil pode ser utilizado em larga escala, com a ressalva de que não pode haver contaminação em excesso.

Diversas pesquisas sobre a adição de aditivo retardador de pega na pasta de gesso vêm sendo desenvolvidas com o intuito de aumentar o período de aplicação do revestimento, a fim de diminuir a produção de resíduo. Alves et al. (2012) estudaram a interferência do citrato de sódio no calor de hidratação da pasta de gesso. Eles observaram como se apresentou o tempo útil para as amostras que utilizaram 0,00%, 0,02%, 0,04%, 0,06% e 0,08% do citrato em relação à massa do gesso. Neste, constatou-se as alterações na calorimetria de hidratação e na resistência à compressão. Mostrou que o teor de 0,06% de citrato de sódio é o mais indicado.

Cincotto; Hincapié (1997) [11] estudaram várias substâncias químicas retardadora dos tempos de início e fim de pega, tais como, ácido cítrico, citrato de sódio, acetato de sódio, bórax, ácido tartárico, hexametáfosfato de sódio, fosfato de amônio, fosfato de potássio, caseína e peptona. O citrato de sódio, o bórax, os fosfatos e a peptona apresentaram os melhores resultados. Verificou-se ainda que todas as amostras que utilizaram aditivo retardador de pega tiveram um decréscimo da dureza quando comparadas às amostras sem utilização de aditivos. Em relação à resistência à compressão, a NBR 13207 (ABNT, 1994) recomenda que o gesso atinja no mínimo 8,4 MPa. As únicas amostras que não alcançaram o valor mínimo sugerido pela norma foram as que utilizaram o ácido tartárico, o acetato de amônio e as que utilizaram o teor de 2% de acetato de sódio.

Cincotto; John (2010) [12] agruparam os aditivos retardadores de pega em três categorias, conforme o seu modo de atuação: espécies químicas que diminuem a velocidade de dissolução do hemidrato, espécies químicas que geram reações complexas e produtos orgânicos de massa molecular elevada. Os aditivos, de modo geral, influenciam em várias propriedades da pasta do gesso. Neste estudo chamou-se a atenção para dois fenômenos em particular: a expansão entre as partículas e a porosidade entre elas.

Ribeiro et al. (2013) estudou a viabilidade técnica para se obter gesso beta a partir de resíduos de revestimento de parede e instalação de forro. Concluiu-se que os dois tipos de gesso reciclado satisfizeram a resistência à flexão exigida pela NBR 12775 (ABNT, 1992) [13]; a resistência à compressão e a dureza encontrada foi satisfatória quando utilizado resíduo de placa e de revestimento. Houve a ressalva de que se devem realizar testes em escala industrial como passo decisivo para definir a tecnologia adequada para permitir a utilização do resíduo de gesso como material de construção, o que trará uma contribuição à indústria quanto à questão econômica, financeira e ambiental.

3 Materiais e Métodos

O gesso utilizado na pesquisa foi obtido no mercado. Como o objetivo é reaproveitar o resíduo na própria obra, sua coleta foi feita em visita única.

Para iniciar o estudo houve o beneficiamento do resíduo. O mesmo passou por um moinho, especialmente construído para este fim, por duas vezes (Figura 1). Como foi seguida a proposta de composição granulométrica de Cavalcanti et al. (2012) (Quadro 1), realizou-se o peneiramento. Posteriormente o resíduo foi calcinado em estufa a 150°C por 1 hora, seguindo os estudos de Pinheiro (2011). Todos os processos foram realizados em laboratório.



Fig 1 – Moinho

Tabela 1 – Composição granulométrica do resíduo de gesso

Abertura de peneira (mm)	% Retido	% Retido acumulado
0,075	0,50	0,50
0,105	1,00	1,50
0,210	1,50	3,00
0,300	18,00	21,00
0,420	27,00	48,00
0,600	21,00	69,00
0,840	19,00	88,00
1,200	12,00	100,00
TOTAL	100,00	100,00

O resíduo calcinado foi previamente misturado ao gesso antes de entrar em contato com a água, que foi destilada. A relação água/materiais secos utilizada foi de 0,6. O gesso foi substituído pelo resíduo calcinado nas proporções de 0%, 10%, 50%, 90% e 100%, em massa. O procedimento de mistura realizado foi o recomendado pela MB 3469 (ABNT, 1991) [14].

Na primeira etapa da pesquisa foram realizados ensaios para a caracterização do gesso e do resíduo, definindo-se assim: as características físicas do pó, obedecendo ao método de ensaio da MB 3468 (ABNT, 1991) [15] e as características físicas e mecânicas das misturas de gesso e resíduo com e sem a utilização de retardador de pega, segundo a MB 3469 e MB 3470 (ABNT, 1991) [16], respectivamente.

Para determinar a resistência à compressão e a dureza, foram moldados três corpos de prova para cada mistura, conforme indicação da MB 3470 (ABNT, 1991). Antes de

romper os corpos de prova à compressão, a dureza foi determinada por meio de um durômetro Shore C, utilizando a média do valor encontrado em 3 faces de cada corpo de prova, tomando-se o cuidado de não utilizar a face de moldagem.

Utilizando um calorímetro pseudoadiabático, obteve-se a curva do calor de hidratação em função do tempo, onde foram medidos os tempos de pega das amostras. O tempo de início de pega foi caracterizado quando a temperatura variou $0,1^{\circ}\text{C}/\text{min}$. O de fim de pega foi obtido quando a temperatura máxima foi atingida.

O calorímetro pseudoadiabático foi confeccionado com um recipiente de isopor, proporcionando um isolamento da amostra do meio externo (Figura 2). Para medir a variação da temperatura utilizou-se um termômetro de precisão de $0,1^{\circ}\text{C}$ com um termopar do tipo k (Cromel-Alumel) acoplado.



Fig 2 – Calorímetro pseudoadiabático

4 Resultados

Os resultados da caracterização do gesso e do resíduo estão apresentados no Quadro 2.

Tabela 2 – Caracterização do gesso e do resíduo

Propriedade	Gesso	Resíduo
Módulo de finura	0,098	1,071
Massa unitária (kg/m^3)	731,51	649,38
Consistência normal	0,45	0,60

O módulo de finura determinado para o gesso e o resíduo indica que ambos são finos, pois os resultados foram menores que 1,1, de acordo com a NBR 13207 (ABNT, 1994).

A consistência normal do resíduo foi obtida utilizando 100% de resíduo calcinado mais água. Para possibilitar os ensaios da mistura de gesso com resíduo, utilizou-se uma consistência normal maior que a do gesso. Ao invés de 0,45, fixou-se a relação água/materiais secos em 0,6.

As misturas com 10% e 50% de resíduo, com e sem aditivo, apresentaram melhor trabalhabilidade para moldagem dos corpos de prova, apresentado um melhor acabamento com menos porosidade. As misturas com 90% de resíduo, com e sem aditivo, e 100% de resíduo, com aditivo, se mostraram com um acabamento ruim e uma trabalhabilidade comprometida. No caso da mistura com 100% de resíduo sem aditivo, não houve trabalhabilidade suficiente para moldagem dos corpos de prova (Figura 3).



Fig 3. - Tentativa de moldagem de corpos de prova com 100% de resíduo sem aditivo retardador de pega.

Os resultados de dureza e resistência à compressão das misturas de gesso com substituição, em massa, por diferentes porcentagens de resíduo, com e sem aditivo retardador de pega – citrato de sódio, estão no Quadro 3.

As misturas com e sem aditivo mantiveram a dureza próxima a do gesso (0% de resíduo). Apenas a mistura com 100% de resíduo e aditivo retardador de pega apresentou uma queda de 4%.

Na resistência à compressão as misturas de gesso com e sem aditivo e a mistura com 10% de resíduo sem retardador de pega apresentaram resistência dentro do critério recomendado pela NBR 13207 (ABNT, 1994), de 8,4 MPa; embora esta norma não regulamente misturas com resíduos. Observou-se que quanto maior a porcentagem de resíduo, maior a porosidade e menor a resistência. Constatou-se ainda que o uso do citrato de sódio fez diminuir a resistência à compressão (Figura 4).

As misturas com 90% e 100% de resíduo mostraram-se inviáveis para a relação água/materiais secos adotada.

Tabela 3 – Propriedades das misturas de gesso e resíduo com e sem aditivo retardador de pega.

Misturas	Dureza (u.s.c.)	Resistência à compressão (MPa)
0% de resíduo sem aditivo	96,22	22,00
0% de resíduo com aditivo	96,45	17,33
10% de resíduo sem aditivo	95,33	12,33
10% de resíduo com aditivo	95,56	6,33
50% de resíduo sem aditivo	98,89	5,33
50% de resíduo com aditivo	94,33	4,67
90% de resíduo sem aditivo	96,55	1,33
90% de resíduo com aditivo	95,89	1,67
100% de resíduo sem aditivo	*	*
100% de resíduo com aditivo	92,56	1,00

*Não houve trabalhabilidade suficiente para moldar os corpos de prova.

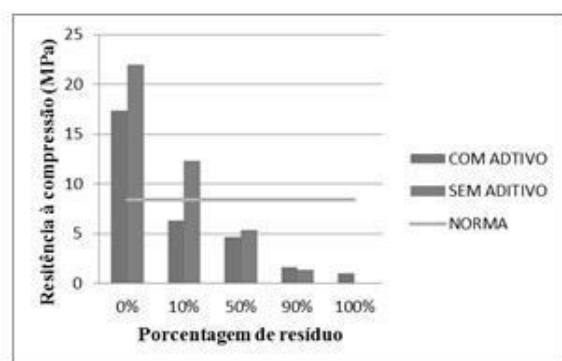


Fig 4. - Resistência à compressão das misturas com e sem aditivo retardador de pega.

Com o calorímetro obteve-se as curvas de calor de hidratação das amostras sem e com aditivo retardador de pega (Figuras 5 e 6).

As misturas com resíduo que não utilizaram retardador de pega tiveram variabilidade pequena de tempo de fim de pega. Estes tempos estão indicados próximos às curvas de calor de hidratação (Figura 5). Na medida em que se aumenta o percentual de resíduo a temperatura máxima diminui. Observa-se, também, que a curva característica de hidratação em formato de “S” não existe nas misturas com 90% e 100% de resíduo, indicando que a maior parte do processo de hidratação já ocorreu aos 5 minutos.

Com a adição do citrato de sódio constatou-se um aumento no tempo de utilização das misturas com 0%, 10% e 50% de resíduo (Figura 6). As misturas com 90% e 100% não apresentaram variabilidade significativa, mas se apresentaram com o tempo de fim de pega menor. A curva característica de hidratação em formato de “S” que não existia apresentou tendência a se formar nas misturas com 90% e 100% de resíduo, indicando que o processo de hidratação foi retardado, mas não houve aumento do tempo de utilização, calculado pela subtração entre os tempos de pega final e inicial.

Aos 5 minutos (4 minutos de mistura mais 1 minuto de preparo da amostra) a temperatura de todas as misturas apresentou variação de 0,1°C/min, indicando que o tempo de início de pega foi menor que este. Sendo assim, para calcular o tempo de utilização, este tempo foi considerado igual a 5 minutos para todas as misturas.

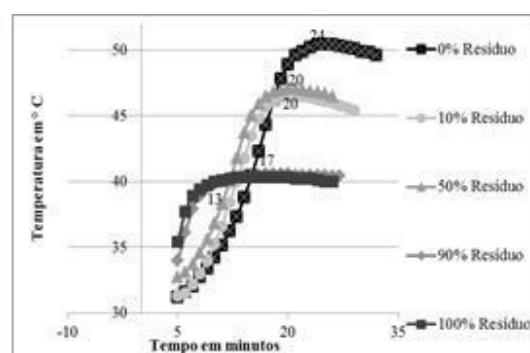


Fig 5. - Curva de calor de hidratação das misturas de gesso e resíduo sem aditivo retardador de pega.

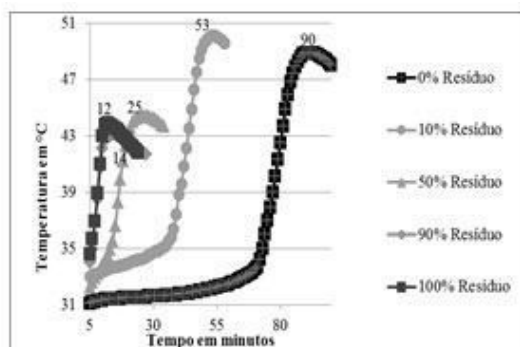


Fig 6. - Curva de calor de hidratação das misturas de gesso e resíduo com aditivo retardador de pega.

A mistura com 50% de resíduo e com citrato de sódio apresentou o mesmo tempo de utilização da pasta de gesso sem retardador de pega (Figura 7), o que indica a viabilização do seu uso em obra.

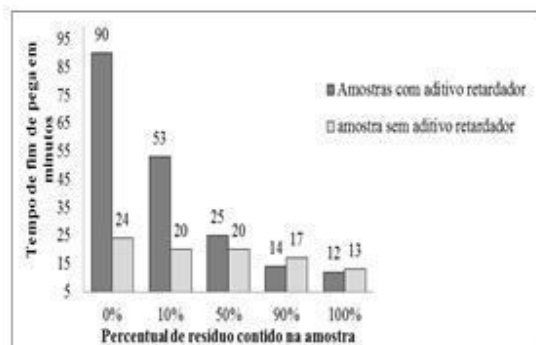


Fig. 5 - Tempo de fim de pega das misturas de gesso e resíduo com e sem aditivo retardador de pega

5 Conclusão

O citrato de sódio diminuiu a resistência à compressão de todas as misturas.

O tempo de utilização das misturas com 0%, 10% e 50% de resíduo aumentou com a adição do retardador de pega, mas não houve variabilidade significativa nas misturas com 90% e 100%.

A mistura com 50% de resíduo e com o retardador de pega apresentou o mesmo tempo de utilização da pasta de gesso sem o aditivo, viabilizando seu uso em obra.

6 Agradecimentos

Agradeço a Escola Politécnica de Pernambuco pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa fornecendo uma bolsa de iniciação científica.

Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13207. Gesso para construção civil: Especificação. Rio de Janeiro, 1994.
- [2] AYRES, M. Indústria de construção civil deve crescer 2,8% em 2014. Revista Exame. Dezembro de 2013. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/economia/noticias/industria-brasileira-de-construcao-civil-deve-crescer-2-8-em-2014>>. Acesso em: 28 de março de 2014.
- [3] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. Sumário mineral, 2013.
- [4] GUSMÃO, A.D. Manual de Gestão de Resíduos da Construção Civil. 1. ed. Camaragibe/PE: CCS Editora e Gráfica, 2008. 140 p.
- [5] RIBEIRO, A.S.; SANTOS, V.A.; BENACHOUR, M.; de MELO, D. C. P.; CAVALCANTI, D. E. S. Potencial alternativo na reciclagem de resíduos de gesso na construção civil. Revista Pernambucana de Tecnologia. v.1, n.1, outubro de 2013. p.57-71.
- [6] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. CONAMA. Resolução n. 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002, estabelecendo nova classificação para o gesso. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.
- [7] SCHMITZ, I.B.T.A.; PÓVOAS, Y.V. 2009. Análise de desempenho do revestimento de gesso com adição de seu resíduo gerado em obra. In: IV Encontro Latino-Americano sobre edificações e comunicações sustentáveis. Anais. Recife. 2009.
- [8] CAVALCANTI, R.A.A.; ALVES, B.C.A.; ROMANO, R.C.O.; JOHN, V.M.; PÓVOAS, Y.V. Composição granulométrica do resíduo de gesso influencia nas propriedades do revestimento interno de parede. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC, 2012. CD-ROM. Juiz de Fora, 2012.
- [9] PINHEIRO, S.M.M. Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes. Tese de doutorado em engenharia civil. Universidade estadual de Campinas. Campinas. 2011.
- [10] ALVES, B.C.A.; CAVALCANTI, R.A.A.; ROMANO, R.C.O.; JOHN, V.M.; PÓVOAS, Y.V.

- Interferência do citrato de sódio na calorimetria da pasta de gesso. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Entac, 2012. CD-ROM. Juiz de Fora, 2012.
- [11] CINCOTTO, M.A; HINCAPIÉ, A.M. Seleção de substâncias retardadoras do tempo de pega do gesso de construção civil. Boletim técnico BT/PCC/184 da Escola Politécnica da USP–Departamento de engenharia de construção civil – Universidade de São Paulo – São Paulo. 1997.
- [12] CINCOTTO, M.A.; JOHN, V.M. Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de matérias. volume 1. 2ª edição. 2010.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12775. Placas lisas de gesso para forro – Determinação das dimensões e propriedades físicas. Rio de Janeiro, 1992.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. MB 3469. Gesso para construção: determinação das propriedades físicas da pasta. Rio de Janeiro, 1991.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. MB 3468. Gesso para construção: determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro, 1991.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. MB 3470. Gesso para construção: determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 1991.

Identificação e Discriminação de Pontos Negros de Segurança Viária na Br-101

Silva, T. T. O.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
t.trigueiros@gmail.com

Kohlman Rabbani, E. R.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
emilialsht@poli.br

Macedo, M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
marcia.macedo@poli.br

Resumo

A rápida urbanização no Brasil tem levado ao aumento no número de acidentes de trânsito. Estes se destacam em termos de magnitude, tanto na quantidade de mortos e feridos, bem como danos à propriedade. Isso torna necessária a implementação de políticas de planejamento urbano. O SIG@TRANS, que está sendo desenvolvido pelo grupo de pesquisa Desenvolvimento Seguro e Sustentável da UPE, é um sistema de informação geográfico para identificação, diagnóstico e predição de pontos viários com alto risco de acidentes. Neste artigo deu-se início ao estudo da metodologia proposta pelo PIARC e criação de planilha para o cálculo dos pontos negros utilizando 3 métodos de identificação de pontos negros. A planilha foi validada com um exemplo do Piarc e aplicada ao trecho da BR 101 que fica entre Touros (RN) e Ibirajuba (SC). Nos resultados, 50 pontos críticos foram identificados. Espera-se que estudos desses pontos ajudem na prevenção de acidentes.

Palavras-Chave: Segurança viária, transporte, acidentes de trânsito

Abstract

Rapid urbanization in Brazil has led to an increased number of traffic accidents. These stand out in terms of magnitude, both in the number of deaths and injuries as well as damage to property. This necessitates the implementation of urban planning policies. The SIG @ TRANS which is being developed by the research group Safe and Sustainable Development of UPE, is a geographic information system for identification, diagnosis and prediction of road points at high risk of accidents. This article has been started to study the methodology proposed by PIARC and creating spreadsheet for the calculation of blackheads using three methods of identifying black spots. The spreadsheet was validated with an example of PIARC and applied to the BR 101 which lies between Touros (RN) and Ibirajuba (SC). In the results, 50 critical points were identified. Those are expected to study, and help in the prevention of accidents.

Keywords: Road Safety, transportation, accidents

1 Introdução

Os acidentes de trânsito no Brasil e no mundo têm se destacado em termos de magnitude, tanto em número de mortes e feridos quanto por suas consequências monetárias para os usuários e para a sociedade. Em função do crescimento no número de acidentes de trânsito, criou-se uma demanda por métodos, eficientes que possam colaborar com o gerenciamento da segurança viária.

Um comportamento diferenciado, que demonstra melhores resultados em comparação aos do Brasil, adotado pelos países mais desenvolvidos, é o planejamento estratégico quanto a segurança viária. Esse tem contribuído para a diminuição significativa dos acidentes de trânsito, podendo servir como modelos a serem estudados e adaptados às realidades locais.

É perceptível a falta de um planejamento direcionado à diminuição dos acidentes viários, tanto na Região Metropolitana do Recife (RMR) como no Brasil, como retratado mais detalhadamente posteriormente. Foi portanto proposto pelo grupo de pesquisa Desenvolvimento Seguro e Sustentável (DESS) da UPE o desenvolvimento de um sistema de informações geográficas para a identificação, diagnóstico e predição de pontos críticos no que se refere a acidentes rodoviários, denominado SIG@TRANS. O SIG@TRANS visa contribuir com o estudo de métodos direcionados ao planejamento estratégico no que se refere a segurança viária.

A malha viária de uma área urbana precisa satisfazer as necessidades de mobilidade enquanto satisfaz os requisitos estabelecidos pela coletividade: minimizar os riscos de acidentes e impactos ambientais, respeitar as restrições orçamentárias, estimular o desenvolvimento econômico, entre outros. Um contínuo monitoramento da malha viária do ponto de vista da segurança faz-se necessário a fim de garantir que as demandas da sociedade estão sendo atendidas. Apesar de haverem uma variedade de métodos disponível para detectar os problemas de segurança viária, a análise detalhada dos acidentes ocorridos nas vias continua sendo um dos principais indicadores das deficiências da rede.

O novo Código de Trânsito Brasileiro – CTB privilegia as questões de segurança e de preservação da vida. Uma de suas características é o expressivo conjunto de medidas de prevenção que contém, não sendo, por conseguinte, um instrumento apenas punitivo. A sua implantação objetivava ser, assim, o mecanismo legal e eficaz para a diminuição dos principais fatores de risco, envolvendo condutor, pedestre, veículos e via pública.

A implantação efetiva do CTB requer a superação do atraso tecnológico nas questões do trânsito brasileiro, como a baixa confiabilidade das estatísticas referentes à frota das pessoas habilitadas, bem como em relação às vítimas e às ocorrências de acidentes de trânsito; o precário controle de tráfego, inspeção e segurança veicular; a desagregação de normas e procedimentos relativos à engenharia de trânsito; a fiscalização inadequada; e o treinamento ultrapassado para a habilitação de novos condutores, além da capacitação técnica de recursos humanos.

Segundo um estudo realizado em janeiro de 2011 pela Universidade de Michigan nos EUA, que visava analisar a gestão da segurança viária nos países em desenvolvimento, conhecidos como BRIC, avaliando tópicos como estatísticas de acidentes, programas de segurança no trânsito, obstáculos no seu desenvolvimento, existência de institutos de pesquisa desse tema, agência governamentais responsáveis pela segurança viária, entre outros, verificou que o Brasil não apresenta um plano de segurança viária, havendo a necessidade de aprimorar os estudos desse tema e ação planejada e sistemática neste sentido [6]. À medida que houve um crescimento socioeconômico do país nas últimas décadas, ocorreu um aumento também no número de veículos motorizados e consequentemente, no número de acidentes de trânsito. De acordo com o Sistema de Informação de Mortalidade – SIM, só no ano de 2010 morreram em decorrência de acidente de trânsito 40.610 pessoas, e em Pernambuco foram 1.920 pessoas.

Com a chegada da Refinaria da Petrobrás, Estaleiro Atlântico-Sul e diversas empresas satélites ao Porto de Suape, o número de veículos e seu fluxo tem aumentado sensivelmente, e que vem sendo percebido pelo aumento do congestionamento na região. A necessidade de adequar a mobilidade da região fica ainda mais evidente com a aproximação da Copa do Mundo no Brasil, havendo a necessidade de garantir um planejamento mais eficaz no que tange a mobilidade segura e sustentável.

O planejamento de intervenções públicas e privadas no setor de transportes insere-se na consecução de metas socioeconômicas e ecológicas, rumo ao desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, as decisões sobre o tema devem ser embasadas em análises abrangentes, que avaliem pontos críticos na rede viária e possibilitem a proposição de alternativas viáveis que possam diminuir as condições de risco de acidentes existentes.

A expansão das redes de transportes, principalmente dentro das áreas urbanas, precisa acompanhar o crescimento populacional e garantir um nível de operação do sistema em longo prazo (mobilidade segura e sustentável), como também um crescimento programado e organizado que garantam a segurança dos diversos usuários das vias. Além dos critérios técnicos para a expansão da rede, outras

informações relacionadas aos acidentes de trânsito devem ser consideradas, tais como: tipo de veículos envolvidos, as características geométricas das vias, fluxo de veículos, características ambientais entre outros que possibilitam a identificação na malha viária dos pontos negros (blackspots) em relação aos acidentes, ajudando na priorização de medidas de controle a serem tomadas.

Os tipos de acidentes e seções da rede que necessitam de ações remediais imediatas precisam ser determinados e isto pode ser feito com o monitoramento sistemático dos acidentes nas vias e análise da formação de blackspots a fim de que futuros problemas possam ser antecipados [7]. Dessa forma, as decisões sobre o tema devem ser embasadas em análises abrangentes, que avaliem alternativas por meio de múltiplas interações. A complexidade e o volume de informações necessárias ao suporte de modelos de análise adequados, que permitam a constante reavaliação de metas e objetivos, exigem que essas atividades estejam apoiadas num sistema de informações ágil e robusto, que integre os dados originados das várias entidades relacionadas com o planejamento de transportes. Os Sistemas de Informação Geográfica - SIG tornam possível uma melhor compreensão das relações espaciais existentes entre os elementos analisados, facilitando a avaliação de diversas alternativas e permitindo a visualização de situações complexas, cuja representação só seria possível através de um grande volume de mapas e documentos [4].

As empresas de transportes têm investido nas soluções voltadas para o SIG, disponíveis para diversos contextos e escalas, com aplicações que impactam a resolução de problemas em atividades nos planos local e global que deixaram de ser uma ferramenta de apoio e se consolidam como poderosas ferramentas de suporte a decisão. Dentro do ambiente de SIG já existe um amplo universo de ferramentas para visualização e análise de dados espaciais, porém limitado quando se trata de análise de redes, gestão da mobilidade urbana e mais ainda para os modelos de prospecção para prevenção de acidentes.

2 Objetivos da Pesquisa

Espera-se neste artigo apresentar a primeira etapa do desenvolvimento do SIG@TRANS a fim de possibilitar o entendimento e identificação dos *blackspots*, de acordo com modelo apresentado no PIARC (2003).

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um instrumento que possibilite identificar os pontos negros (Blackspots) em relação a risco de acidentes de trânsito. O instrumento será validado a partir de um exemplo teórico do PIARC e aplicado no trecho da BR 101 que vai do quilômetro 0 (localizado em Touros, no Rio

Grande do Norte), até o quilômetro 208 (Ibiraçu, em Santa Catarina).

2.2 Objetivos Específicos

Segue uma lista dos principais objetivos específicos necessários para atingir o objetivo geral estabelecido:

- Estabelecer critérios prioritários para identificação de áreas críticas em relação à segurança viária em áreas urbanas.
- Coletar dados relacionados aos acidentes de trânsito, fluxo e características geométricas das vias de um trecho da BR 101.
- Identificar os principais pontos negros quanto à segurança viária, tendo como base o número e gravidades dos acidentes de trânsito considerando modelos internacionais de segurança nas vias.
- Propor a aplicação de pelo menos três possíveis metodologias para diagnóstico de pontos negros que contribua com a implementação de um sistema de gestão de segurança nas vias urbanas brasileiras.

3 Metodologia

Tendo como base a metodologia para diagnóstico de acidentes apresentada no “Manual de Segurança Rodoviária” (Road Safety Manual) elaborado pelo *World Road Association's Road Safety Committee* denominado doravante de PIARC (2003) foi desenvolvido uma planilha em excel que calcula os blackspots usando as oito etapas descritas a seguir. Vale ressaltar que cada método pode identificar pontos negros diferentes.

3.1 Explicação dos métodos

1) Determinar a Frequência dos Acidentes

A frequência dos acidentes será calculada através da análise dos dados que deverão ser obtidos pelos órgãos públicos responsáveis (e.g. Polícia Rodoviária Federal – PRF e DNIT). Serão considerados os dados de acidentes e suas respectivas localizações nos últimos 5 anos.

2) Determinar a Taxa de Acidente

O Cálculo da taxa de acidentes registrados para cada trecho durante o período de análise seguirá fórmula apresentada na Equação 1:

$$R_j = \frac{f_j \times 10^6}{365,25 \times PL_j Q}$$

Erro! Fonte de referência não encontrada.)

Onde:

f_j = taxa de acidente no local (acidentes/km)

P = Período de análise (ano)

L_j = comprimento da seção do local (km)

Q = tráfego diário médio anual de local (conhecido em inglês por AADT – Average Annual Daily Traffic)

3) Determinar a Taxa Crítica de Acidente

Este índice permite comparar a taxa de acidentes e a sinistralidade crítica em cada local. Uma análise detalhada de segurança é justificada quando a taxa de acidentes é maior do que a taxa crítica de acidente (ver cálculo na Equação 2).

$$R_{cj} = R_{rp} + K \sqrt{\frac{R_{rp} \times 10^6}{365,25 \times PL_j Q_j}} + \frac{1 \times 10^6}{730,5 \times PL_j Q_j}$$

Equação (2)

Onde:

R_{cj} - Taxa Crítica de Acidente

R_{rp} - Taxa média de acidente em local semelhante (acidentes/Km)

K - Coeficiente estatístico - 1,036 para um nível de confiança de 85%

P - Período de análise (ano)

L_j - comprimento da seção do local (km)

Q - tráfego diário médio anual de local

4) Determinar o Índice de dano Material Equivalente

Este índice atribui maior importância ao trauma mais sério, para cada acidente, há um peso que é uma função do pior nível de prejuízo sofrido por uma das vítimas de acidentes. Conforme apresentado na Equação 3.

$$EPDO_j = \sum W_i \times f_{ij}$$

Onde:

W_j = fator de ponderação de uma gravidade de acidentes:

- 1,0: Paradas materiais
- 3,5: Acidentes com vítimas Graves (leves e graves)
- 9,5: Acidentes com Morte

f_{ij} = frequência de um acidente de gravidade no local

5) Determinar a média do Índice de Danos Materiais Equivalentes

Tendo em mãos os dados de $EPDO_j$ é calculado o EPDO médio da população dividindo o $EPDO_j$ pela frequência de ocorrência do acidente i na seção j (ver Equação 1).

$EPDO_i \text{ médio} = EPDO_i / f_i$ Tendo em mãos os dados de $EPDO_j$ é calculado o EPDO médio da população dividindo o $EPDO_j$ pela frequência da severidade do acidente i na seção j (ver Equação 1).

$EPDO_i \text{ médio} = EPDO_i / f_i$

6) Determinar o Índice de gravidade proporcional

O índice de gravidade relativa (RSI), portanto, atribui a cada tipo de acidente um peso que não está relacionado com a sua gravidade real, mas em vez disso, a gravidade média de vários acidentes terem ocorrido em condições semelhantes conforme apresentado na Equação 5.

$$RSI_j = \sum f_{ij} \times C_i$$

Onde:

f_{ij} = frequência de um acidente de gravidade no local

C_i = custo médio de um acidente tipo i

Para calcular o custo médio por acidente serão adotados os valores atualizados fornecidos pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, a Tabela 1 apresenta os valores estimados de 2003.

Tabela 1 - Custo Médio de Acidente

Tipo de Acidente	Custo
Custo médio por acidente	R\$ 8.782,00
Acidente sem vítima	R\$ 3.262,00
Acidente com ferido	R\$ 17.460,00
Acidente com morte	R\$ 144.143,00

Fonte: IPEA (2003)

7) Determinar a média do índice de gravidade proporcional

Cálculo da média referente ao índice que avalia a gravidade de vários acidentes ocorridos num trecho semelhante da estrada está apresentada na Equação 6

$$RSI_j \text{ médio} = RSI_j / f_j \quad (6)$$

8) Determinar o potencial de melhoria do local

Esse método é baseado numa comparação entre o nível de segurança, num local específico, com o nível médio de segurança na população de referência escolhida (ver Equação 7).

$$P.I._j = f_j - f_p \quad (7)$$

Onde:

f_p - Frequência de acidente no período, calculado por $f_p = 0,0084 Q^{0,76}$

f_j - taxa de acidente no local (acidentes/Km)

3.2 Validação do sistema em excel

Entendendo os métodos e suas formas de cálculo, foi criada e utilizada, como forma de validação dos cálculos, uma planilha em excel. A planilha foi desenvolvida com as fórmulas dos métodos supracitados, e foi munida com os dados tirados do PIARC para o cálculo dos dados apresen-

tados no Apêndice A. O objetivo foi encontrar os resultados já expostos no livro, dando assim a certeza de que os cálculos efetuados por essa tabela são precisos, validando os resultados da planilha.

No decorrer da elaboração da pesquisa, verificou-se que alguns dados do PIARC apresentavam erros. Esses erros foram corrigidos na planilha apresentada no Apêndice A e que serviu de base para os cálculos do trecho da BR101 analisada.

3.3 Análise da BR101

Através de análise dos dados fornecidos pela PRF foi possível discriminar as respectivas quantidades de acidentes por quilômetro no ano de 2013. O apêndice B detalha a frequência de acidentes, a quantidade de feridos, sua gravidade, e número de mortes para os 208 km da BR analisados. O Apêndice C apresenta o cálculo dos pontos críticos de acordo com os três métodos escolhidos que foram destacados através da coloração vermelha. Os Apêndices D, E e F compilam os dados referentes aos pontos críticos de cada método analisado

4 Resultados

Através da aplicação da metodologia de identificação de blackspots foi possível encontrar parâmetros para julgamento do grau de risco de acidentes para os 8 métodos propostos pelo PIARC. Foram escolhidos três desses métodos (Frequência de acidente, EPDO e EPDO médio) a serem aplicados na identificação dos blackspots. O apêndice C apresenta os dados completos, com a acusação dos blackspots, calculados através da planilha excel desenvolvida para os 208 trechos (de um km cada) da BR 101.

4.1 Frequência de acidentes

Nesse método analisou-se apenas a quantidade de acidentes naquela região. Como explicitado no item 3.1. calculou-se uma frequência média entre todos os quilômetros da BR com pelo menos um acidente. Segundo a planilha de excel, já validada, a frequência média de acidentes foi de 17,887 acidentes por quilômetro. Portanto, serão considerados críticos os trechos que apresentarem número de acidentes maior que o dobro desse valor. Foram encontrados 29 pontos, com frequência variando de 37 a 171 acidentes (Vide resumo dos pontos críticos no Apêndice D).

4.2 EPDO

Nesse método, conforme explicado na metodologia, determinou-se pesos para os acidentes. Peso 1 para acidentes sem vítimas, peso 3,5 para acidentes com feridos leves, e

peso 9,5 para acidentes com feridos graves ou mortos. Calculou-se o valor de EPDO (Equivalente de danos à propriedade apenas) para todos os trechos, calculou-se a média (52) e identificou-se os pontos críticos. São eles aqueles cujo EPDO é superior a 2,5 vezes o valor médio. Foram encontrados 25 pontos (vide dados apresentados no Apêndice E).

4.3 EPDO médio

O EPDO médio é o EPDO relativo por acidente. Nesse método, o valor do EPDO é dividido pela quantidade de acidentes, a fim de explorar o valor médio equivalente de cada acidente. Trechos com alto valor de EPDO médio indicam que os acidentes são mais perigosos. Geram em média mais vítimas ou pessoas mais gravemente feridas que os demais. Novamente calculou-se a média de todos os quilômetros da BR 101 (4,00) e identificou-se os pontos críticos, que são aqueles cujo valor de EPDO médio é superior ao dobro do valor médio. Foram encontrados 19 pontos conforme apresentados no Apêndice F.

5 Considerações Finais

Após a análise e estudo detalhado da BR 101, foram identificados 50 pontos de altíssimo risco. Esses necessitam de providência por parte dos órgãos competentes, para que, através de políticas públicas estratégicas, possam ser otimizados. Diagnosticar a causa dos acidentes e corrigir é essencial nesse processo.

Observa-se também que nenhum dos pontos críticos encontrados através do método EPDO coincide com os encontrados com o EPDO médio., ratificando assim a premissa de que cada método analisa os trechos sob perspectivas e parâmetros diferentes. Alguns pontos críticos encontrados através da frequência, entretanto, coincidem com os encontrados nos outros métodos. Esses são, sob mais de uma perspectiva, de altíssimo risco.

Referências

- [1] AASHTO - American Association of State Highway Transportation Officials. **Highway Safety Manual** (HSM). Washington-DC: Federal Highway Administration. 2010.
- [2] BRASIL. Ministério das Cidades. **Código de Trânsito Brasileiro**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/ctb.pdf>>. Acesso em: 07 dez. 2013.
- [3] CÂMARA, Gilberto; DAVIS JR., Clodoveu Augusto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (ed). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Livro on-line. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>>. Atualizado em 04/06/2001.
- [4] HARWOOD, DW; KOHLMAN RABBANI, ER; RICHARD, KR. Systemwide optimization of safety improvements for resurfacing, restoration or rehabilitation projects. **Transportation Research Record**. Washington: TRB, 2003.
- [5] KOHLMAN RABBANI, ER; BULLEN, G. Marginal Delay: New measure for quality of service at signalized intersections. **Transportation Research Record**. Washington: TRB, 2003.
- [6] LUOMA, J.; SIVAK, M. **Road-Safety Management in Brazil, Russia, India and China**. Disponível em: <<http://depblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/89427/102786.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2013
- [7] PIARC - TECHNICAL COMMITTEE ON ROAD SAFETY. **Road Safety Manual**: Recommendations from the World Road Association. Paris: Route Market. 20
- [8] AVELAR, T. C. Análise de risco de segurança na atividade de transporte rodoviário de produto perigoso nos trechos de grande fluxo da BR 101, PE 60 da RMR. **Monografia de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho**. Universidade de Pernambuco. 2014

Apêndice A – Validação dos cálculos efetuados pela tabela em excel

N° SEÇÃO	Q (MÉDIA ANUAL DE TRÁFEGO DIÁRIO)	FREQUÊNCIA DE ACIDENTE	TAXA DE ACIDENTE	TAXA CRÍTICA DE ACIDENTES	DANOS DO MATERIAL EQUIVALENTE	MÉDIA DANO DO MATERIAL EQUIVA- LENTE	GRAVIDADE PROPORCIONAL	MÉDIA DA GRAVIDADE PROPORCIONAL
1	6050	9	2,72	2,40	33,5	3,72	\$ 1.454.100,00	161566,6667
2	800	1	2,28	5,38	3,5	3,50	\$ 173.200,00	173200
3	8500	7	1,50	2,27	24	3,43	\$ 1.070.800,00	152971,4286
4	4500	5	2,03	2,55	16	3,20	\$ 735.500,00	147100
5	4500	6	2,43	2,55	6	1,00	\$ 1.054.400,00	175733,3333
6	6800	7	1,88	2,35	9,5	1,36	\$ 1.009.400,00	144200
7	1000	2	3,65	4,69	4,5	2,25	\$ 306.000,00	153000
8	2200	3	2,49	3,19	5,5	1,83	\$ 502.300,00	167433,3333
9	2500	0	0,00	3,04	0	0,00	\$ -	0
10	5400	14	4,73	2,45	30	2,14	\$ 2.617.500,00	186964,2857
11	4200	6	2,61	2,60	6	1,00	\$ 870.000,00	145000
12	7400	9	2,22	2,31	25	2,78	\$ 1.445.200,00	160577,7778
13	1900	3	2,88	3,39	23,5	7,83	\$ 668.400,00	222800
14	1400	1	1,30	3,91	1	1,00	\$ 206.600,00	206600
15	4000	6	2,74	2,63	19,5	3,25	\$ 1.249.000,00	208166,6667
16	8000	7	1,60	2,29	20,5	2,93	\$ 1.183.800,00	169114,2857
17	2500	3	2,19	3,04	11,5	3,83	\$ 445.100,00	148366,6667
18	1500	2	2,43	3,78	2	1,00	\$ 319.300,00	159650
19	4150	0	0,00	2,61	0	0,00	\$ -	0
20	5700	7	2,24	2,43	14,5	2,07	\$ 1.162.200,00	166028,5714
21	4700	5	1,94	2,53	18,5	3,70	\$ 1.035.400,00	207080
22	5400	4	1,35	2,45	4	1,00	\$ 759.600,00	189900
23	3400	5	2,68	2,75	16	3,20	\$ 607.000,00	121400
24	3700	2	0,99	2,69	2	1,00	\$ 282.900,00	141450
25	4000	4	1,83	2,63	9	2,25	\$ 883.300,00	220825

26	3200	3	1,71	2,80	13,5	4,50	\$ 352.200,00	117400
27	4400	5	2,07	2,57	18,5	3,70	\$ 734.400,00	146880
28	4500	1	0,41	2,55	1	1,00	\$ 14.600,00	14600
29	4300	4	1,70	2,58	12,5	3,13	\$ 502.300,00	125575
30	3600	5	2,54	2,71	7,5	1,50	\$ 751.300,00	150260
31	3700	0	0,00	2,69	0	0,00	\$ -	0
32	7500	6	1,46	2,31	6	1,00	\$ 1.252.200,00	208700
33	1300	3	4,21	4,06	14	4,67	\$ 711.600,00	237200
34	3150	0	0,00	2,82	0	0,00	\$ -	0
35	1700	4	4,29	3,56	4	1,00	\$ 450.800,00	112700
36	5700	8	2,56	2,43	8	1,00	\$ 1.050.400,00	131300
37	6500	5	1,40	2,37	5	1,00	\$ 741.700,00	148340
38	2500	3	2,19	3,04	3	1,00	\$ 559.300,00	186433,3333
39	800	2	4,56	5,38	2	1,00	\$ 331.800,00	165900
40	4200	4	1,74	2,60	9	2,25	\$ 574.500,00	143625
41	7950	7	1,61	2,29	18	2,57	\$ 1.065.900,00	152271,4286
42	1950	2	1,87	3,35	2	1,00	\$ 341.600,00	170800
43	4500	4	1,62	2,55	4	1,00	\$ 484.000,00	121000
44	3800	3	1,44	2,67	8	2,67	\$ 365.500,00	121833,3333
45	6900	12	3,17	2,34	30,5	2,54	\$ 1.698.200,00	141516,6667
46	2600	4	2,81	3,00	4	1,00	\$ 447.400,00	111850
47	7100	8	2,06	2,33	13	1,63	\$ 1.027.300,00	128412,5
48	7900	9	2,08	2,29	14	1,56	\$ 1.051.700,00	116855,5556
49	5400	5	1,69	2,45	22	4,40	\$ 704.900,00	140980
50	3800	4	1,92	2,67	4	1,00	\$ 474.800,00	118700
51	7500	7	1,70	2,31	9,5	1,36	\$ 1.019.000,00	145571,4286
52	8500	10	2,15	2,27	26	2,60	\$ 1.652.400,00	165240
53	4000	3	1,37	2,63	3	1,00	\$ 242.500,00	80833,3333
54	5600	5	1,63	2,43	10	2,00	\$ 921.300,00	184260
55	3600	4	2,03	2,71	6,5	1,63	\$ 487.400,00	121850
TOTAL		258						

Apêndice B: Demonstrativo detalhado dos dados por quilômetro da BR 101

Km Acidente	Frequência de acidentes	Gravemente feridos	Levemente feridos	Mortos	Acidentes s/ feridos
0	3	0	2	0	1
1	4	1	0	0	3
2	7	0	1	0	6
3	26	2	6	0	18
4	17	3	10	1	3
5	7	1	3	0	3
6	15	2	6	0	7
7	23	1	7	1	14
8	13	1	1	0	11
9	4	0	1	1	2
10	6	0	2	0	4
11	4	0	2	0	2
12	2	0	0	0	2
13	3	1	0	0	2
14	5	1	4	0	0
15	1	0	1	0	0
16	5	0	0	0	5
17	1	0	1	0	0
18	1	1	0	0	0
19	2	0	1	0	1
19,1	2	0	2	1	0
20	3	0	1	0	2
21	5	1	0	0	4
22	4	0	1	0	3
22,1	4	1	3	1	0
23	1	0	0	0	1
24	7	0	0	0	7
25	6	1	1	1	3
26	6	0	0	0	6
27	2	0	0	0	2
28	5	0	2	0	3

29	4	1	1	1	1
30	6	0	5	0	1
31	7	2	1	1	3
32	7	0	2	0	5
33	9	0	8	0	1
34	7	1	3	0	3
35	3	0	1	0	2
36	10	1	0	1	8
37	9	1	3	0	5
38	12	0	6	0	6
39	7	1	0	0	6
40	11	3	4	0	4
41	23	9	5	0	9
42	37	4	14	0	19
43	42	8	17	0	17
44	46	4	11	2	29
45	34	0	8	0	26
46	53	5	9	1	38
47	43	9	9	2	23
48	41	9	14	0	18
49	43	10	9	4	20
50	171	8	14	0	149
51	106	11	26	0	69
52	27	5	5	1	16
53	23	5	6	2	10
54	26	1	14	0	11
55	15	4	4	0	7
56	13	0	2	1	10
57	45	7	13	0	25
58	46	7	17	2	20
59	32	2	14	2	14
60	43	1	10	2	30
61	32	2	8	1	21
62	22	2	1	0	19
63	49	3	13	0	33
64	60	2	13	3	42
65	73	1	21	1	50
66	60	3	19	1	37

67	103	10	38	2	53
68	147	5	32	1	109
69	122	7	31	0	84
70	107	9	30	0	68
71	75	6	14	1	54
72	56	3	9	1	43
73	73	2	22	1	48
74	41	6	16	2	17
75	29	2	4	0	23
76	27	5	5	0	17
77	49	6	15	1	27
78	73	6	12	0	55
79	32	7	7	1	17
80	134	10	12	1	111
81	22	6	3	1	12
82	76	8	7	1	60
83	90	6	15	2	67
84	31	4	16	1	10
85	17	3	5	1	8
86	31	15	9	4	3
87	18	9	3	0	6
88	11	1	7	1	2
89	17	3	9	1	4
90	27	5	11	0	11
91	20	3	9	0	8
92	25	2	16	0	7
93	18	1	2	1	14
94	30	7	10	0	13
95	11	0	1	1	9
96	21	3	8	1	9
97	28	8	14	1	5
98	23	3	2	4	14
99	21	1	7	0	13
100	15	3	2	0	10
101	11	3	1	1	6
102	14	4	10	2	0
103	13	4	1	0	8
104	6	1	1	0	4

105	7	4	23	1	0
106	0	0	0	0	0
107	0	0	0	0	0
108	4	0	3	0	1
109	3	3	2	0	0
110	5	0	4	0	1
111	0	0	0	0	0
112	0	0	0	0	0
113	0	0	0	0	0
114	0	0	0	0	0
115	3	0	0	0	3
116	3	2	1	1	0
117	3	1	0	1	1
118	4	0	1	1	2
119	2	0	0	0	2
120	4	2	1	2	0
121	3	0	0	0	3
122	1	1	0	0	0
123	4	1	7	0	0
124	0	0	0	0	0
125	0	0	0	0	0
126	0	0	0	0	0
127	0	0	0	0	0
128	12	2	8	0	2
129	3	1	0	1	1
130	6	0	0	1	5
131	4	1	0	1	2
132	6	0	1	1	4
133	4	1	0	2	1
134	0	0	0	0	0
135	0	0	0	0	0
136	5	0	1	2	2
137	0	0	0	0	0
138	2	0	1	0	1
140	0	0	0	0	0
142	0	0	0	0	0
143	0	0	0	0	0
145	2	0	0	0	2

147	5	0	6	0	0
149	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0
151	0	0	0	0	0
152	0	0	0	0	0
153	0	0	0	0	0
154	3	1	2	0	0
155	0	0	0	0	0
159	0	0	0	0	0
160	0	0	0	0	0
162	0	0	0	0	0
163	2	0	0	0	2
164	0	0	0	0	0
165	0	0	0	0	0
166	0	0	0	0	0
167	0	0	0	0	0
168	0	0	0	0	0
169	3	0	0	0	3
170	0	0	0	0	0
171	0	0	0	0	0
172	0	0	0	0	0
175	2	1	0	0	1
178	2	0	0	0	2
180	3	3	0	0	0
182	2	1	0	0	1
183	3	0	2	0	1
184	2	0	4	0	0
185	2	0	1	0	1
186	4	0	1	0	3
188	1	0	0	0	1
189	3	1	0	0	2
190	3	5	8	3	0
191	1	2	0	0	0
194	2	0	1	0	1
195	1	0	0	0	1
196	3	0	2	0	1
197	2	1	2	0	0
198	1	0	0	0	1

199	1	0	0	0	1
200	1	1	0	0	0
207	1	0	1	0	0
208	1	0	0	1	0

Apêndice C – Demonstrativo detalhado dos dados pontos críticos calculados da BR 101

Km Aci-dente	Gravemente feri-dos	Levemente feridos	Mortos	Acidentes s/ feri-dos	Frequência de aci-dentes	EPDO	EPDO médio
0	0	2	0	1	3	8	2,67
1	1	0	0	3	4	12,5	3,13
2	0	1	0	6	7	9,5	2,67
3	2	6	0	18	26	58	2,23
4	3	10	1	3	17	76	4,47
5	1	3	0	3	7	23	3,29
6	2	6	0	7	15	47	3,13
7	1	7	1	14	23	57,5	2,5
8	1	1	0	11	13	24	1,85
9	0	1	1	2	4	15	3,75
10	0	2	0	4	6	11	2,67
11	0	2	0	2	4	9	2,67
12	0	0	0	2	2	2	2,67
13	1	0	0	2	3	11,5	3,83
14	1	4	0	0	5	23,5	4,7
15	0	1	0	0	1	3,5	3,5
16	0	0	0	5	5	5	2,67
17	0	1	0	0	1	3,5	3,5
18	1	0	0	0	1	9,5	9,5
19	0	1	0	1	2	4,5	2,25
19,1	0	2	1	0	2	16,5	2,67
20	0	1	0	2	3	5,5	1,83
21	1	0	0	4	5	13,5	2,7
22	0	1	0	3	4	6,5	1,63
22,1	1	3	1	0	4	29,5	7,38
23	0	0	0	1	1	1	1
24	0	0	0	7	7	7	2,67

25	1	1	1	3	6	25,5	4,25
26	0	0	0	6	6	6	2,67
27	0	0	0	2	2	2	1
28	0	2	0	3	5	10	2
29	1	1	1	1	4	23,5	5,88
30	0	5	0	1	6	18,5	2,67
31	2	1	1	3	7	35	5
32	0	2	0	5	7	12	2,67
33	0	8	0	1	9	29	2,67
34	1	3	0	3	7	23	3,29
35	0	1	0	2	3	5,5	2,67
36	1	0	1	8	10	27	2,7
37	1	3	0	5	9	25	2,78
38	0	6	0	6	12	27	2,67
39	1	0	0	6	7	15,5	2,21
40	3	4	0	4	11	46,5	4,23
41	9	5	0	9	23	112	4,87
42	4	14	0	19	37	106	2,86
43	8	17	0	17	42	152,5	3,63
44	4	11	2	29	46	124,5	2,71
45	0	8	0	26	34	54	2,67
46	5	9	1	38	53	126,5	2,39
47	9	9	2	23	43	159	3,7
48	9	14	0	18	41	152,5	3,72
49	10	9	4	20	43	184,5	4,29
50	8	14	0	149	171	274	1,6
51	11	26	0	69	106	264,5	2,5
52	5	5	1	16	27	90,5	3,35
53	5	6	2	10	23	97,5	4,24
54	1	14	0	11	26	69,5	2,67
55	4	4	0	7	15	59	3,93
56	0	2	1	10	13	26,5	2,67
57	7	13	0	25	45	137	3,04
58	7	17	2	20	46	165	3,59
59	2	14	2	14	32	101	3,16
60	1	10	2	30	43	93,5	2,17
61	2	8	1	21	32	77,5	2,42
62	2	1	0	19	22	41,5	1,89

63	3	13	0	33	49	107	2,18
64	2	13	3	42	60	135	2,25
65	1	21	1	50	73	142,5	1,95
66	3	19	1	37	60	141,5	2,36
67	10	38	2	53	103	300	2,91
68	5	32	1	109	147	278	1,89
69	7	31	0	84	122	259	2,12
70	9	30	0	68	107	258,5	2,42
71	6	14	1	54	75	169,5	2,26
72	3	9	1	43	56	112,5	2,01
73	2	22	1	48	73	153,5	2,1
74	6	16	2	17	41	149	3,63
75	2	4	0	23	29	56	1,93
76	5	5	0	17	27	82	3,04
77	6	15	1	27	49	146	2,98
78	6	12	0	55	73	154	2,11
79	7	7	1	17	32	117,5	3,67
80	10	12	1	111	134	257,5	1,92
81	6	3	1	12	22	89	4,05
82	8	7	1	60	76	170	2,24
83	6	15	2	67	90	195,5	2,17
84	4	16	1	10	31	113,5	3,66
85	3	5	1	8	17	63,5	3,74
86	15	9	4	3	31	215	6,94
87	9	3	0	6	18	102	5,67
88	1	7	1	2	11	45,5	4,14
89	3	9	1	4	17	73,5	4,32
90	5	11	0	11	27	97	3,59
91	3	9	0	8	20	68	3,4
92	2	16	0	7	25	82	3,28
93	1	2	1	14	18	40	2,22
94	7	10	0	13	30	114,5	3,82
95	0	1	1	9	11	22	2,67
96	3	8	1	9	21	75	3,57
97	8	14	1	5	28	139,5	4,98
98	3	2	4	14	23	87,5	3,8
99	1	7	0	13	21	47	2,24
100	3	2	0	10	15	45,5	3,03

101	3	1	1	6	11	47,5	4,32
102	4	10	2	0	14	92	6,57
103	4	1	0	8	13	49,5	3,81
104	1	1	0	4	6	17	2,83
105	4	23	1	0	7	128	18,29
108	0	3	0	1	4	11,5	2,67
109	3	2	0	0	3	35,5	11,83
110	0	4	0	1	5	15	2,67
115	0	0	0	3	3	3	2,67
116	2	1	1	0	3	32	10,67
117	1	0	1	1	3	20	6,67
118	0	1	1	2	4	15	2,67
119	0	0	0	2	2	2	1
120	2	1	2	0	4	41,5	10,38
121	0	0	0	3	3	3	2,67
122	1	0	0	0	1	9,5	9,5
123	1	7	0	0	4	34	8,5
128	2	8	0	2	12	49	4,08
129	1	0	1	1	3	20	6,67
130	0	0	1	5	6	14,5	2,67
131	1	0	1	2	4	21	5,25
132	0	1	1	4	6	17	2,67
133	1	0	2	1	4	29,5	7,38
136	0	1	2	2	5	24,5	2,67
138	0	1	0	1	2	4,5	2,67
145	0	0	0	2	2	2	2,67
147	0	6	0	0	5	21	2,67
154	1	2	0	0	3	16,5	5,5
163	0	0	0	2	2	2	2,67
169	0	0	0	3	3	3	2,67
175	1	0	0	1	2	10,5	5,25
178	0	0	0	2	2	2	2,67
180	3	0	0	0	3	28,5	9,5
182	1	0	0	1	2	10,5	5,25
183	0	2	0	1	3	8	2,67
184	0	4	0	0	2	14	2,67
185	0	1	0	1	2	4,5	2,25
186	0	1	0	3	4	6,5	2,67

188	0	0	0	1	1	1	1
189	1	0	0	2	3	11,5	3,83
190	5	8	3	0	3	104	34,67
191	2	0	0	0	1	19	19
194	0	1	0	1	2	4,5	2,25
195	0	0	0	1	1	1	1
196	0	2	0	1	3	8	2,67
197	1	2	0	0	2	16,5	8,25
198	0	0	0	1	1	1	1
199	0	0	0	1	1	1	1
200	1	0	0	0	1	9,5	9,5
207	0	1	0	0	1	3,5	3,5
208	0	0	1	0	1	9,5	9,5
160	0	0	0	0	0	0	0
162	0	0	0	0	0	0	0
163	0	0	0	2	2	2	2,67
164	0	0	0	0	0	0	0
165	0	0	0	0	0	0	0
166	0	0	0	0	0	0	0
167	0	0	0	0	0	0	0
168	0	0	0	0	0	0	0
169	0	0	0	3	3	3	2,67
170	0	0	0	0	0	0	0
171	0	0	0	0	0	0	0
172	0	0	0	0	0	0	0
175	1	0	0	1	2	10,5	5,25
178	1	0	0	1	2	2	1
180	3	0	0	0	3	28,5	9,5
182	1	0	0	1	2	10,5	5,25
183	0	2	0	1	3	8	2,67
184	7	4	0	0	2	14	7
185	0	1	0	1	2	4,5	2,25
186	0	1	0	3	4	6,5	2,67
188	0	0	0	1	1	1	1
189	1	0	0	2	3	11,5	3,83
190	5	8	3	0	3	104	34,67
191	2	0	0	0	1	19	19

194	0	1	0	1	2	4,5	2,25
195	0	0	0	1	1	1	1
196	0	2	0	1	3	8	2,67
197	1	2	0	0	2	16,5	8,25
198	0	0	0	1	1	1	1
199	0	0	0	1	1	1	1
200	1	0	0	0	1	9,5	9,5
207	0	1	0	0	1	3,5	3,5
208	0	0	1	0	1	9,5	9,5

Apêndice D – Pontos críticos encontrados pelo método da frequência de acidentes

Km Acidente	Gravemente feridos	Levemente feridos	Mortos	Acidentes s/ feridos	Frequência de acidentes	EPDO	EPDO médio
42	4	14	0	19	37	106	2,86
43	8	17	0	17	42	152,5	3,63
44	4	11	2	29	46	124,5	2,71
46	5	9	1	38	53	126,5	2,39
47	9	9	2	23	43	159	3,7
48	9	14	0	18	41	152,5	3,72
49	10	9	4	20	43	184,5	4,29
50	8	14	0	149	171	274	1,6
51	11	26	0	69	106	264,5	2,5
54	1	14	0	11	26	69,5	2,67
57	7	13	0	25	45	137	3,04
58	7	17	2	20	46	165	3,59
60	1	10	2	30	43	93,5	2,17
63	3	13	0	33	49	107	2,18
64	2	13	3	42	60	135	2,25
65	1	21	1	50	73	142,5	1,95
66	3	19	1	37	60	141,5	2,36
67	10	38	2	53	103	300	2,91
68	5	32	1	109	147	278	1,89
69	7	31	0	84	122	259	2,12
70	9	30	0	68	107	258,5	2,42
71	6	14	1	54	75	169,5	2,26
72	3	9	1	43	56	112,5	2,01
73	2	22	1	48	73	153,5	2,1
74	6	16	2	17	41	149	3,63

77	6	15	1	27	49	146	2,98
78	6	12	0	55	73	154	2,11
80	10	12	1	111	134	257,5	1,92
82	8	7	1	60	76	170	2,24
83	6	15	2	67	90	195,5	2,17

Apêndice E – Pontos críticos encontrados pelo método do EPDO

Km Acidente	Gravemente feridos	Levemente feridos	Mortos	Acidentes s/ feridos	Frequência de acidentes	EPDO	EPDO médio
43	8	17	0	17	42	152,5	3,63
47	9	9	2	23	43	159	3,7
48	9	14	0	18	41	152,5	3,72
49	10	9	4	20	43	184,5	4,29
50	8	14	0	149	171	274	1,6
51	11	26	0	69	106	264,5	2,5
57	7	13	0	25	45	137	3,04
58	7	17	2	20	46	165	3,59
64	2	13	3	42	60	135	2,25
65	1	21	1	50	73	142,5	1,95
66	3	19	1	37	60	141,5	2,36
67	10	38	2	53	103	300	2,91
68	5	32	1	109	147	278	1,89
69	7	31	0	84	122	259	2,12
70	9	30	0	68	107	258,5	2,42
71	6	14	1	54	75	169,5	2,26
73	2	22	1	48	73	153,5	2,1
74	6	16	2	17	41	149	3,63
77	6	15	1	27	49	146	2,98
78	6	12	0	55	73	154	2,11
80	10	12	1	111	134	257,5	1,92
82	8	7	1	60	76	170	2,24
83	6	15	2	67	90	195,5	2,17
86	15	9	4	3	31	215	6,94
97	8	14	1	5	28	139,5	4,98

Apêndice F – Pontos críticos encontrados pelo método do EPDO médio

Km Acidente	Gravemente feridos	Levemente feridos	Mortos	Acidentes s/ feridos	Frequência de acidentes	EPDO	EPDO médio
18	1	0	0	0	1	9,5	9,5
105	4	23	1	0	7	128	18,29
109	3	2	0	0	3	35,5	11,83
116	2	1	1	0	3	32	10,67
120	2	1	2	0	4	41,5	10,38
122	1	0	0	0	1	9,5	9,5
123	1	7	0	0	4	34	8,5
180	3	0	0	0	3	28,5	9,5
190	5	8	3	0	3	104	34,67
191	2	0	0	0	1	19	19
197	1	2	0	0	2	16,5	8,25
200	1	0	0	0	1	9,5	9,5
208	0	0	1	0	1	9,5	9,5
180	3	0	0	0	3	28,5	9,5
190	5	8	3	0	3	104	34,67
191	2	0	0	0	1	19	19
197	1	2	0	0	2	16,5	8,25
200	1	0	0	0	1	9,5	9,5
208	0	0	1	0	1	9,5	9,5

Estudo e Implementação Computacional de um Sistema de Comunicação Digital

Da Silva Junior, A. C.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
amarocsjunior@gmail.com

Alcoforado, M. L. M. G.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
mariadelourdesalcoforado@yahoo.com.br

Resumo *Este artigo visa apresentar o desenvolvimento de um software que permite dar subsídios ao ensino da Engenharia na área de Telecomunicações. O artigo expõe, além da busca por melhores resultados de demonstrações e melhor didática de apresentação do software, o estudo e implementação de um sistema de comunicação digital, abordando três subtemas principais: codificação-decodificação de fonte, codificação-decodificação de canal e canal corrompido com ruído aditivo Gaussiano Branco (AWGN). Ao analisar-se o que se tem hoje como apoio ao ensino de Engenharia, percebemos uma não evolução do velho sistema quadro-caderno. Este artigo apresenta uma nova opção de dinâmica de ensino.*

Abstract *This paper aims to shows a software development that allows give subsidies to Engineering teaching in Communication area. The paper exposes, beyond the search for better results of statements and better didactic of software's presentation, the study and implementation of a digital communication system, addressing three main subthemes: source coding-decoding, channel coding-decoding and corrupted channel with Additive White Gaussian Noise (AWGN). When analyzing what we have today to support the teaching of Engineering, we realize a non-evolution of the old frame blackboard-notebook. This paper shows a new option for dynamic teaching.*

1 Introdução

Em 1948, no Bell Telephone Laboratories, Claude E. Shannon publicou um dos mais notáveis artigos científicos na história da Engenharia [1]. Esse artigo deu início a uma nova era que permitiu aos engenheiros pela primeira vez quantificar a “informação”. A ideia era descrever informação de uma maneira quantificada, que então poderia nos proporcionar:

- Analisar informações características de fontes, receptores, canais etc.;
- Aperfeiçoar a transmissão de informação através de códigos de fonte para compressão;
- Melhorar a confiabilidade de um sistema de transmissão através de códigos de canais para detecção e correção de erros.

Surge então a dúvida, como medir a informação. Essa questão no ponto de vista conceitual não é tão simples e podem haver inúmeras respostas possíveis, pode-se então contentar-se com a resposta padrão introduzida por Shannon em seu artigo [1]. A definição do conteúdo informativo de uma fonte deve depender, naturalmente, das probabilidades da respectiva variável aleatória estudada em questão. Sabe-se também que quanto maior for a incerteza associada a uma fonte, maior é a quantidade de informação que é transmitida a um observador por cada amostra gerada por essa fonte demonstrado em [3]. Logo associa-se a medida de informação procurada à medida de incerteza da fonte. É comum que essa medida de incerteza receba o nome de *Entropia*, conceito bastante enfatizado por James Massey em 1980 [2]. Tendo em mãos a medida de informação e as definições de probabilidade de cada possível símbolo gerado pela fonte, pode-se realizar as três medidas citadas acima, analisar as informações, aperfeiçoar a transmissão e melhorar a confiabilidade do sistema. O sistema desenvolvido é manipulado com o tratamento de imagens passando por um sistema de comunicação, desde sua geração até a recepção, passando por uma codificação de fonte, codificação de canal, adição de ruído, decodificação de canal e decodificação de fonte.

2 Aperfeiçoando a transmissão através de códigos de fonte para compressão

De posse da análise das informações características da fonte, pode-se então utilizar um método eficaz de otimização de um sistema de comunicações, que é a compressão de dados através de uma codificação de fonte. O código

escolhido neste estudo para compressão foi o código de **Huffman** [4]. O algoritmo de *Huffman* foi proposto por *David Albert Huffman* enquanto estudante de pós-graduação no MIT como parte de uma monografia para a aula de *Robert Fano* para resolver o problema de uma codificação ótima de uma fonte sem memória.

O Algoritmo é dado:

Considera-se uma fonte *X* emitindo símbolos de um alfabeto com probabilidades . O algoritmo de *Huffman* pode ser dividido em duas partes.

Parte A:

- **Passo 1:** Ordena-se os símbolos por ordem decrescente de probabilidade;
- **Passo 2:** Agrupa-se os dois símbolos menos prováveis em um único símbolo cuja probabilidade será a soma das probabilidades dos símbolos agrupados (o alfabeto agora possui um símbolo a menos);
- **Passo 3:** Se o alfabeto resultante possuir dois ou mais símbolos, deve-se retornar ao passo 1, caso contrário, fim da parte A.

Parte B: A parte A do algoritmo produziu uma árvore binária na qual as folhas correspondem aos símbolos da fonte. Agora deve-se percorrer a árvore da raiz até a folha atribuindo, arbitrariamente, os símbolos “0” e “1” a cada par de ramos com origem em cada nó interno da árvore.

A figura abaixo demonstra a construção da árvore binária pelo código de *Huffman*, em que *m0*, *m1*, *m2*, *m3* e *m4* são símbolos gerados pela fonte, reorganizados de cima para baixo em forma decrescente, somando-se os dois valores menores, reorganizando novamente até que reste apenas dois símbolos.

A, *B*, *C* e *D* são resultados das somas demonstradas na imagem.

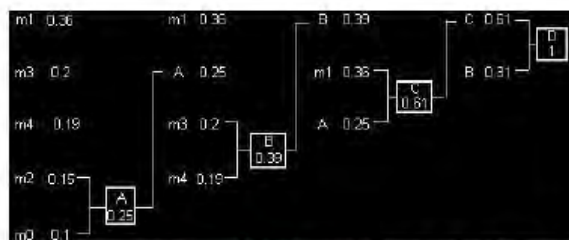


Fig 1. Árvore desenvolvida na codificação de *Huffman*.

Através desse algoritmo de codificação de fonte, podemos comprimir nossa informação de forma eficaz, demonstrando, através do *software* desenvolvido neste estudo, a compressão de uma imagem através do código de *Huffman* para aperfeiçoar a sua passagem pela linha de transmissão, demonstrado matematicamente em [4], podendo ser visualizado na tela do *software* ilustrado na Fig. 2:

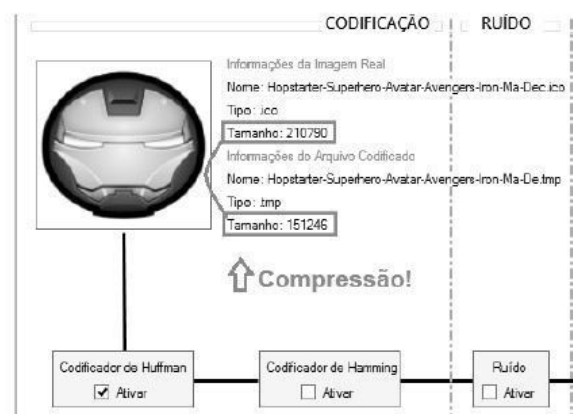


Fig 2. Compressão por *Huffman*.

Nota-se uma variação de tamanho de 210.790 bytes para 151.246 bytes, numa compressão de aproximadamente 28,248% da imagem original.

Observa-se então, uma eficiência na utilização do código de *Huffman* comprovado com o uso do *software*, que demonstra, na prática, de forma didática e interessante, a utilização do código de *Huffman* para compressão e otimização da transmissão.

3 Melhorando a confiabilidade de um sistema de transmissão através de códigos de canais para detecção e correção de erros

Com o arquivo comprimido em mãos, pode-se utilizar um sistema para tentar minimizar os efeitos de interferências e ruídos externos. O tratamento que deve-se ter para evitar ou tentar minimizar esse ruído foi a codificação de canal com detecção e correção de erros através do algoritmo do código de **Hamming**. Esse código foi desenvolvido por *Richard Wesley Hamming*, um matemático americano em seu artigo *Error Detecting and Error Correcting Codes* [5], em 1950. Ele é um código de bloco linear e sua utilização permite a transferência e armazenamento de dados de forma segura e eficiente. O código de *Hamming* utilizado no processo no *software* foi o

código de *Hamming* (7,4) que pode detectar até dois erros por bloco e corrigir até um erro por bloco.

Este tipo de código de controle de erros, transforma cada bloco de 4 bits de dados num bloco de 7 bits, acrescentando 3 bits de paridade.

Foram seguidas as seguintes etapas:

Construção de *G* e *H*:

A matriz *G* é denominada matriz geradora de um código linear, e *H* é chamada de matriz de paridade, tendo em vista que $\mathbf{H} \cdot \mathbf{G}^T = \mathbf{0}$ [5].

A matriz geradora e a matriz de paridade são:

$$\mathbf{G} := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \mathbf{H} := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Fig 3. Matrizes Geradora e De Paridade.

Codificação de Canal:

Dado as matrizes acima, temos $k = 4$ (em que k representa o comprimento da mensagem) e $2k = 16$ palavras-código. As palavras código deste código binário podem ser obtidas a partir de .

Sendo: , em que $a_1a_2a_3a_4$ e a_i corresponde à mensagem original a ser transmitida, no campo de Galois(2) (corpo finito com dois elementos).

Pode-se analisar o *software* já com o codificador e decodificador acionados no sistema de transmissão. Observa-se ainda que há uma melhora significativa à qualidade da imagem no receptor, tendo em vista a inserção de ruído, quando se aciona o codificador e decodificador de *Hamming*, nota-se uma melhora na qualidade da imagem, já quando ele está desativado, a imagem é mais corrompida pela ação do ruído inserido.

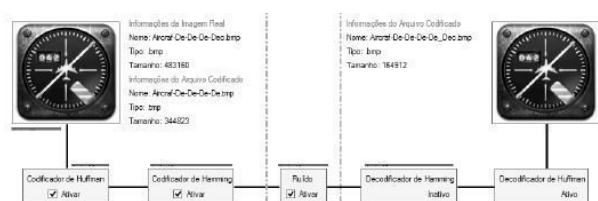


Fig 4. Eficiência do código de Hamming.

Nota-se que a imagem codificada (direita) é bem semelhante à imagem original (esquerda).

4 Inserção do Ruído Aditivo Gaussiano Branco

Tendo feito todo o processo de codificação de fonte (compressão) e de canal, transmite-se a informação através de um canal de comunicações que irá inserir ruídos na mensagem original. O ruído que foi inserido para via de simulação e demonstração foi o *Ruído Aditivo Gaussiano Branco* (AWGN – Additive White Gaussian Noise) [6], que é descrito a seguir.

O Ruído Aditivo Gaussiano Branco é um modelo de ruído básico utilizado para simular o efeito de processos aleatórios que ocorrem na natureza. Suas características são:

- **Aditivo:** Ele é adicionado a qualquer ruído que possa ser intrínseco ao sistema de informação;
- **Gaussiano:** Ele tem uma distribuição normal no domínio do tempo, com valor médio igual a zero;
- **Branco:** Refere-se ao poder que ele tem de ser aplicado a qualquer faixa de frequência para o sistema de informação. É uma analogia à coir branca que tem distribuição uniforme em todas as frequências no espectro visível.

Ao inserir-se o ruído, sem passar por nenhum processo de codificação ou compressão, obtêm-se o seguinte resultado:

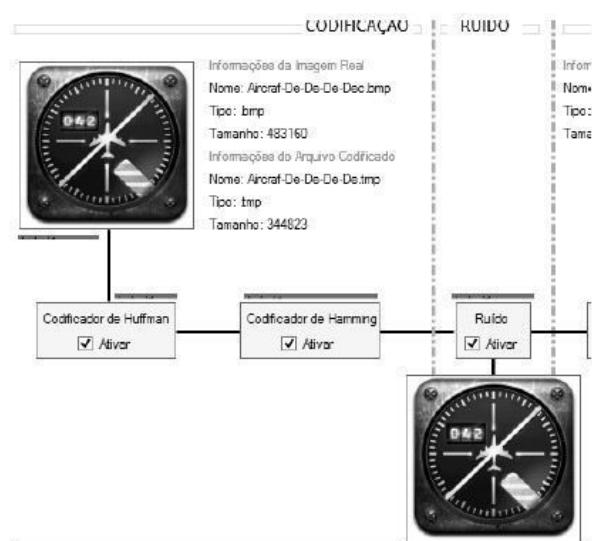


Fig 5. Inserção de ruído.

Percebe-se uma diferença de qualidade entre a imagem original (esquerda) e a corrompida (direita).

E o objetivo do ruído é, justamente, deformar uma imagem, de forma que ela se torne imperceptível ou quase imperceptível, possuindo muitas falhas quando chega ao receptor.

5 Decodificação de Cana

Após passado pelo canal, a informação precisa ser decodificada, e se pode utilizar-se de uma *decodificação computacional* descrita em [7]. Para isto, para o código de *Hamming(7,4)*, podemos definir a matriz de verificação $(n-k)$ por n , H ,

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Suponha agora que o código binário recebido seja R e a mensagem transmitida seja C , determinamos o vetor erro como $E = R - C$. Calculamos então o produto do vetor recebido e a matriz de verificação de paridade

$$\begin{aligned} S &= R \cdot H \\ &= (C + E) \cdot H \\ &= C \cdot H + E \cdot H \end{aligned}$$

Como C é a palavra-código, ela satisfaz a equação de verificação de paridade $C \cdot H = 0$. Portanto,

$$S = E \cdot H$$

O vetor S de dimensão $(n-k)$ é chamado de *síndrome de erro*. Podemos utilizar a síndrome para determinar a posição de qualquer erro único de bit. A síndrome de $[0, 0, 0]$ significa que nenhum erro ocorreu.

Podemos verificar quantos erros ocorreram e qual a posição deles através da *Tabela de Síndromes*:

Tabela 1. Tabela de Síndrome

Líder	Síndrome
00000001	000001
00000010	000010
00000100	000100
00001000	001000
00010000	010000
00100000	100000
01000000	101011
10000000	010111

De posse da tabela, podemos decodificar a mensagem de forma eficaz.

A decodificação de *Huffman* se dá através da árvore binária gerada pelo código de *Huffman*, obtendo assim, a imagem no tamanho original.

6 Resultados

Observa-se na imagem a seguir, que ao acionarmos todos os elementos do nosso sistema, i.e., o compressor de *Huffman*, o codificador de *Hamming* e o Ruído Aditivo Gaussiano Branco, decodificando e voltando a imagem ao tamanho original, obtêm-se uma grande melhora no tratamento da imagem, i.e., obtêm-se resultados melhores em termos de qualidade de visualização, permitindo, assim, que o usuário do *software* visualize a otimização no sistema de comunicações ao utilizar os processos de segurança da informação, protegendo-a de ações ruidosas e evitando maiores perdas. Isso demonstra a eficiência de códigos construídos e utilizados em Comunicações.

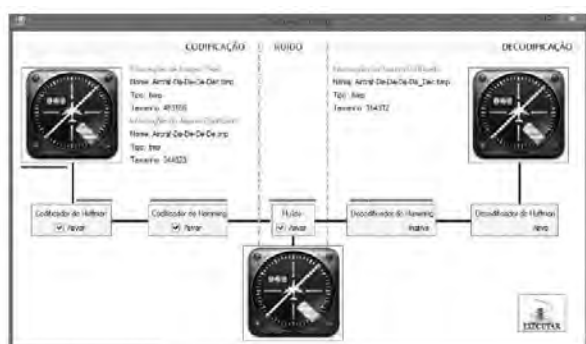


Fig 6. Interface do Software.

7 Propostas

Basicamente, esse *software* é composto por um sistema de comunicações digitais e, no momento, faz uso de três algoritmos: Um para codificação de fonte, um para codificação de canal e um para inserção de ruído. Entretanto, o objetivo futuro é tornar o software mais robusto, incluindo alguns outros algoritmos, proporcionando opções e variedade de utilização para o usuário e para o ensino da Engenharia. A proposta é de, além da inclusão de outros codificadores de fonte e canais e outros tipos de ruído, utilizar também modulação de diversos tipos e entrelaçadores diversos, para otimizar ainda mais o sistema de comunicações adotado pelo software.

8 Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração financeira e estrutura da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco. Agradecem também a colaboração moral e intelectual dos membros integrantes do Grupo de Pesquisa em Telecomunicações (GCom), em especial ao Igor Menezes e à Mariana Cassundé pelo apoio intelectual e materiais de apoio para a construção do *software*, ao Professor Ph.D. Valdemar Rocha da UFPE pelo auxílio no desenvolvimento científico e do conhecimento e a Antônio Nelson pelo auxílio referente à programação e a solução de problemas e barreiras encontradas.

Referências

- [1] C. E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communications", Bell System Technical Journal, v. 27, pp. 379-423, 623-656, Julho e Outubro de 1948.
- [2] J. L. Massey, "Applied Digital Information Theory I, Lecture Notes", Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurique, Suíça, 1980.
- [3] R. Togneri, "Information Theory and Coding", The University of Western Australia, Janeiro de 1999.
- [4] T. M. Cover & J. A. Thomas, "Elements of Information Theory", 2ª Ed., John Wiley and Sons, Inc., 2006.
- [5] R. W. Hamming, "Error Detecting and Error Correcting Codes", Bell System Technical Journal, v. 29, n. 2, pp. 147-160, Abril, 1950.
- [6] A. E. Gamal, M. Mohseni and S. Zahedi, "On Reliable Communication over Additive White Gaussian Noise Relay Channels", Information

Systems Lab, Department of Electrical Engineering - Stanford University, Stanford, CA, 2005.

- [7] S. Haykin, M. Moher, “An Introduction to Digital and Analog Communication”, 2nd Edition, John Wiley and Sons, Inc., 2007.

Utilização de modelos analíticos para quantificação de crosstalk em WSSs

Daniel Alves Ribeiro Chaves 1
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
darc@ecom.poli.br

Hartur Barreto Brito
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
hbb@ecom.poli.br

Autor 3
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Autor2@meu-email

Resumo *Este projeto visa estudar o efeito da interferência de crosstalk em comutadores ópticos (WSSs e OXCs) utilizando modelagem analítica e simulações monte carlo e desenvolver um programa para que esses modelos possam ser utilizados no simulador SIMTON, ajudando na análise de resultados obtidos pelo simulador.*

Abstract *This project tries to study the effect of the interference and crosstalk in optical switches (WSSs and OXCs) using analytical models and monte carlo simulation and develop a program that use these models to implement at the simulator SIMTON, helping the analysis of the results.*

1 Introdução

A disseminação da internet tem facilitado o surgimento de vários serviços de comunicação sofisticados.

A utilização de meios desses meios comunicação, como vídeo sob demanda, voz sobre IP e redes sociais, tem se tornado cada vez mais frequente. Esses serviços demandam a troca de grande quantidade de informações à elevadas taxas de transmissão. Para suportar esses serviços a infraestrutura de telecomunicações deve se adequar a essa requisição. Atualmente, a tecnologia que melhor atende a esses requisitos é o sistema de comunicações ópticas interligados em rede (redes ópticas). Os sistemas ópticos atuais utilizam principalmente o sistema de multiplexação por divisão de comprimento de onda ou WDM. O WDM viabiliza a transmissão simultânea de diversos fluxos de informações diferentes (e.g. de usuários diferentes da rede) em uma mesma fibra óptica. Cada fluxo de informação é transmitido utilizando um comprimento de onda diferente.

As redes ópticas podem ser classificadas em: opaca, transparente e translúcida. Nas opacas, o sinal é convertido do domínio óptico para o eletrônico e novamente para o óptico (conversão O-E-O) em todos os nós da rede. Essa conversão permite a regeneração de todos os sinais que estão trafegando na rede resultando em um bom desempenho da mesma. Por outro lado seu custo de implementação é elevado, pois um grande número de dispositivos que realizam O-E-O é necessário. Nas redes transparentes não são empregadas interfaces O-E-O reduzindo seu custo de implantação. Porém, como não são realizadas O-E-O, há acúmulo de degradação do sinal óptico imposto pela camada física o que leva a uma perda de desempenho significativa em relação às redes opacas. As redes translúcidas são redes transparentes que possuem interfaces O-E-O (também chamadas aqui de regeneradores) estrategicamente posicionadas na rede. A rede translúcida é uma solução intermediária que procura aliar o bom desempenho da rede opaca com o baixo custo da transparente.

A utilização de uma topologia em malha. Na topologia em malha, cada nó da rede óptica pode se conectar a diversos outros nós da rede. Ou seja, um nó com essa característica possui N portas de entrada e N portas de saída. Ele deve ser capaz de comutar qualquer comprimento de onda em uma porta de entrada para qualquer porta de saída. O dispositivo que implementa essa funcionalidade é chamado na literatura de OXC (optical cross connect).

O dispositivo óptico utilizado atualmente em redes que viabiliza a construção de OXCs é o WSS (Wavelength Selective Switch). O WSS pode ser um dispositivo com uma entrada e múltiplas saídas ($1 \times N$), ou um dispositivo com

muitas entradas e uma única saída ($N \times 1$). O WSS pode escolher, de forma independente, quais comprimentos de onda presentes em uma entrada serão transmitidos para a saída do dispositivo. As topologias de ligação mais utilizadas para se formar um OXC com WSSs são as estruturas broadcast and select (BS) e a select and select (SS). A BS apresenta um menor custo porém, em geral, introduz uma maior degradação ao sinal em comparação ao SS.

Ao ser comutado no WSS o sinal óptico pode ser degradado. Isso porque, devido a não idealidade do dispositivo, comprimentos de ondas que transportam informação diferentes podem interferir entre si no interior do WSS gerando uma penalidade conhecida como crosstalk. Nesse caso, a relação sinal ruído (relação que indica o quanto a intensidade de sinal é maior que a intensidade de ruído) do sinal comutado no WSS sofre uma redução pelo aumento da parcela de ruído gerado por crosstalk no interior do WSS.

Tipicamente um sinal óptico é comutado em vários nós no seu percurso. Se a cada nó de comutação há acúmulo da penalidade de crosstalk, ela pode impactar o sinal que está sendo transmitido a ponto de inviabilizar sua recepção.

2 Formulação geral para WSS $N \times 1$

2.1 Premissas

O WSS considerado é mostrado na Figure 1. Ele tem N portas de entrada e 1 de saída. Há K slots de frequência diferentes permitidos em cada porta de entrada/saída. Cada slot de frequência tem um comprimento de onda permitido de Δw e frequências centrais $w_1, w_2, \dots, w_K$. A frequência é representada pela variável independente w .

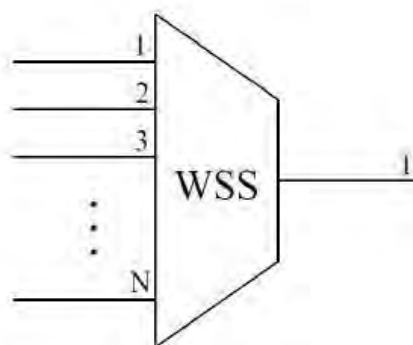


Figura 1: WSS $N \times 1$

A matriz de comutação $\underline{A} = \{a_{n,k}\}$ do WSS pode ser definida como:

$$a_{n,k} = \begin{cases} 1, & \text{Se o } k\text{-th slot de frequência na } n\text{-th} \\ & \text{porta de entrada for comutada para} \\ & \text{a saída.} \\ 0, & \text{Caso contrário.} \end{cases} \quad (1)$$

Considerando $g_n(w)$ como função transferência entre a n -th entrada do WSS e sua saída. O vetor de transferência pode ser descrito como $\underline{\mathbf{G}}(w) = [g_1(w), \dots, g_N(w)]^T$ composto por N funções transferência.

Suponha que na n -ésima porta de entrada do WSS exista um sinal $s_n(w)$ (que pode ser ou não um sinal com interferência) e um sinal adicional de ruído $r_n(w)$ (que pode ser gerado por diversas fontes, incluindo ruído ASE ou interferência de crosstalk). Além disso, assumamos que o sinal total na n -ésima porta de entrada do WSS pode ser escrita por $s_n(w) + r_n(w)$.

2.2 Cálculo do sinal sem interferência na saída

Algumas partes do spectrum $s_n(w)$ são comutadas para a saída do WSS e outras são bloqueadas. Uma forma de escrever o sinal $s'_n(w)$ composto apenas pelas partes do spectrum $s_n(w)$ que são comutadas para a saída do WSS é:

$$s'_n(w) = s_n(w) \sum_{k=1}^K a_{n,k} \pi(w - w_k) \quad (2)$$

Sendo a função $\pi(w)$ é definida por:

$$\pi(w) = \begin{cases} 1, & \text{se } |w| < \frac{\Delta w}{2} \\ 0, & \text{Caso contrário.} \end{cases} \quad (3)$$

Definindo $\underline{\mathbf{\pi}}(w) = [\pi(w - w_1), \dots, \pi(w - w_K)]^T$, e $\underline{\mathbf{S}}' = [s'_1(w), \dots, s'_N(w)]^T$ pode-se escrever (2) na forma de matriz como:

$$\underline{\mathbf{S}}'(w) = (\underline{\mathbf{A}} \cdot \underline{\mathbf{\Pi}}(w)) \otimes \underline{\mathbf{S}}(w) \quad (4)$$

Sendo a representação do produto de matrizes de Hadamard. Dadas duas matrizes $\underline{\mathbf{A}} = \{a_{i,j}\}$ e $\underline{\mathbf{B}} = \{b_{i,j}\}$ o produto de Hadamard retorna a matriz $\underline{\mathbf{C}} = \{c_{i,j}\}$ considerando que $c_{i,j} = a_{i,j} b_{i,j}$.

O crosstalk em um WSS é gerado pela imperfeição no bloqueio do spectrum de frequência que não deveria ser comutado do n -th porta de entrada para a porta de saída. Observe que $s'_n(w)$ contém uma porção do spectrum de frequência que é comutado da entrada para saída e não sofre nenhum bloqueio. Assim, o sinal na saída que não recebe interferência de $r'_n(w)$ nem do crosstalk gerado pelo WSS pode ser calculado como:

$$y^S(w) = \sum_{n=1}^N g_n(w) s'_n(w) \quad (5)$$

Ou em notação de matriz:

$$y^S(w) = \underline{\mathbf{G}}^T(w) \cdot \underline{\mathbf{S}}'(w) = \underline{\mathbf{G}}^T(w) \cdot [(\underline{\mathbf{A}} \cdot \underline{\mathbf{\Pi}}(w)) \otimes \underline{\mathbf{S}}(w)] \quad (6)$$

2.3 Cálculo do sinal com interferência na saída

O sinal total na entrada (sinal mais sinal de ruído) é $s_n(w) + r_n(w)$. Assim, o sinal de saída com interferência gerada pelo crosstalk do WSS e ruído das portas de entrada podem ser calculadas por:

$$y^{total}(w) = \sum_{n=1}^N g_n(w) [s_n(w) + r_n(w)] \quad (7)$$

Que pode ser escrito na notação de matriz como:

$$y^{total}(w) = \underline{\mathbf{G}}^T(w) \cdot [\underline{\mathbf{S}}(w) + \underline{\mathbf{R}}(w)] \quad (8)$$

Sendo $\underline{\mathbf{R}}(w) = [r_1(w), \dots, r_N(w)]^T$.

2.4 Ruído saída e interferência de crosstalk total

Como foi descrito anteriormente $y^{total}(w)$ e $y^S(w)$ são, respectivamente, o sinal com interferência e sem interferência de ruído e crosstalk. Portanto, o total de ruído e interferência de crosstalk $y^I(w)$ verificado na saída do WSS pode ser calculada como:

$$y^I(w) = y^{total}(w) - y^S(w) \quad (9)$$

Assim,

$$y^I(w) = \underline{\mathbf{G}}^T(w) [\underline{\mathbf{S}}(w) + \underline{\mathbf{R}}(w) - (\underline{\mathbf{A}} \cdot \underline{\mathbf{\Pi}}(w)) \otimes \underline{\mathbf{S}}(w)] \quad (10)$$

Resumindo:

$$\begin{aligned} y^S(w) &= \underline{\mathbf{G}}^T(w) \cdot [(\underline{\mathbf{A}} \cdot \underline{\mathbf{\Pi}}(w)) \otimes \underline{\mathbf{S}}(w)] & (\text{Signal}) \\ y^I(w) &= \underline{\mathbf{G}}^T(w) \cdot [\underline{\mathbf{S}}(w) + \underline{\mathbf{R}}(w) - (\underline{\mathbf{A}} \cdot \underline{\mathbf{\Pi}}(w)) \otimes \underline{\mathbf{S}}(w)] & (\text{Noise and Xtalk}) \end{aligned} \quad (11)$$

3 Formulação Geral para WSS

3.1 Premissas

O WSS considerado está representado na Figure 2. O WSS considerado tem 1 porta de entrada e N portas de saída. Há K slots de frequência permitidos em cada porta de entrada/saída. Cada slot de frequência tem um comprimento de onda permitido de Δw e frequências centrais de $w_1; w_2; \dots; w_K$. A frequência é representada pela variável independente w

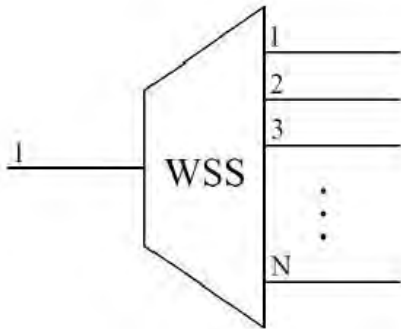


Figura 2: WSS N1xN

A matriz de comutação do WSS $\underline{\mathbf{B}} = \{b_{n,k}\}$ é definida por:

Considere $f_n(w)$ como sendo função transferência entre a entrada e a n -th saída do WSS. O vetor de transferência pode ser descrito como $\underline{\mathbf{F}}(w) = [f_1(w), \dots, f_N(w)]^T$ composto por N funções-transferência.

Suponha que na porta de entrada do WSS há um sinal principal $s(w)$ (que pode ou não conter interferência) e um sinal adicional de ruído $r(w)$ (que pode ser oriundo de diferentes fontes incluindo ruído ASE ou interferência por crosstalk). Além disso, assuma que o sinal total da porta de entrada do WSS pode ser escrito como $s(w) + r(w)$.

3.2 Cálculo do sinal sem interferência na saída

Algumas partes do spectrum $s(w)$ são comutadas para a saída do WSS e a outras são bloqueadas. Uma forma de escrever o sinal $s'_n(w)$ composto apenas pelas partes do spectrum $s(w)$ que são comutadas para n -th saída do WSS é:

$$s'_n(w) = s(w) \sum_{k=1}^K b_{n,k} \pi(w - w_k) \quad (13)$$

Sendo a função $\pi(w)$ definida por (3). Definindo $\underline{\mathbf{\Pi}}(w) = [\pi(w - w_1), \dots, \pi(w - w_K)]^T$ e $\underline{\mathbf{S}}'(w) = [s'_1(w), \dots, s'_N(w)]^T$ pode-se escrever (13) utilizando notação de matriz como:

$$\underline{\mathbf{S}}'(w) = [\underline{\mathbf{B}} \cdot \underline{\mathbf{\Pi}}(w)] s(w) \quad (14)$$

O crosstalk em um WSS é gerado pela imperfeição no bloqueio do spectrum de frequência que não deveria ser comutado da porta de entrada para a n -th porta de saída. Observe que $s'_n(w)$ contém uma porção do spectrum de frequência que é comutado da entrada para a n -th saída e não sofre nenhum bloqueio. Assim, o sinal $y_n^S(w)$ na n -th porta de saída que não recebe interferência de $r(w)$ nem do crosstalk gerado pelo WSS pode ser calculado como:

$$y_n^S(w) = f_n(w) s'_n(w) \quad (15)$$

Definindo $\underline{\mathbf{Y}}^S(w) = [y_1^S(w), \dots, y_N^S(w)]^T$ pode-se escrever (15) em notação de matriz como:

$$\underline{\mathbf{Y}}^S(w) = \underline{\mathbf{F}}(w) \otimes \underline{\mathbf{S}}'(w) = s(w) \underline{\mathbf{F}}(w) \otimes [(\underline{\mathbf{B}} \cdot \underline{\mathbf{\Pi}}(w))] \quad (16)$$

Note que $s(w)$ é um escalar. Então pode ser colocado à esquerda da equação.

3.3 Cálculo da interferência do sinal na saída

O sinal total de entrada (sinal mais ruído) é dado por $s(w) + r(w)$. Assim, o sinal de interferência gerada pelo crosstalk do WSS e o sinal de ruído da porta de entrada do WSS pode ser calculado por:

$$y_n^{total}(w) = [s(w) + r(w)] f_n(w) \quad (17)$$

Que pode ser escrito na notação de matriz como:

$$\underline{\mathbf{Y}}^{total}(w) = \underline{\mathbf{F}}(w)[s(w) + r(w)] \quad (18)$$

Sendo $\underline{\mathbf{Y}}^{total}(w) = [y_1^{total}(w), \dots, y_N^{total}(w)]^T$.

3.4 Total de ruído na saída e interferência de crosstalk

Como foi discutido, $y_n^{total}(w)$ e $y_n^s(w)$ são, respectivamente, os sinais da n -th porta de saída com e sem interferência gerada pelo ruído e crosstalk $y_n^I(w)$ verificada na n -th porta de saída do WSS pode ser calculada por:

$$y_n^I(w) = y_n^{total}(w) - y_n^s(w) \quad (19)$$

Que pode ser escrita em notação de matriz como:

$$\underline{\mathbf{Y}}^I(w) = \underline{\mathbf{Y}}^{total}(w) - \underline{\mathbf{Y}}^s(w) = \underline{\mathbf{F}}(w)[s(w) + r(w)] - s(w) \quad (20)$$

Que pode ser reescrita como:

$$\underline{\mathbf{Y}}^I(w) = s(w)[\underline{\mathbf{F}}(w) - \underline{\mathbf{F}}(w) \otimes (\underline{\mathbf{B}} \cdot \underline{\mathbf{\Pi}}(w))] + r(w) \underline{\mathbf{F}}(w) \quad (21)$$

Resumindo:

$\underline{\mathbf{Y}}^S(w) = s(w) \underline{\mathbf{F}}(w) \otimes (\underline{\mathbf{B}} \cdot \underline{\mathbf{\Pi}}(w))$	(Signal)
$\underline{\mathbf{Y}}^I(w) = s(w)[\underline{\mathbf{F}}(w) - \underline{\mathbf{F}}(w) \otimes (\underline{\mathbf{B}} \cdot \underline{\mathbf{\Pi}}(w))] + r(w) \underline{\mathbf{F}}(w)$	(Noise and Xtalk)

(22)

4 Formulação para arquitetura de nó broadcast and select

4.1 Premissas

Nesta seção serão aplicados os resultados obtidos em (11) para estabelecer o modelo analítico para o nó com arquitetura broadcast and select. Essa arquitetura é mostrada na Figure 3. No nó há N fibras de entrada são indexadas com i enquanto as fibras de saída são indexadas com j .

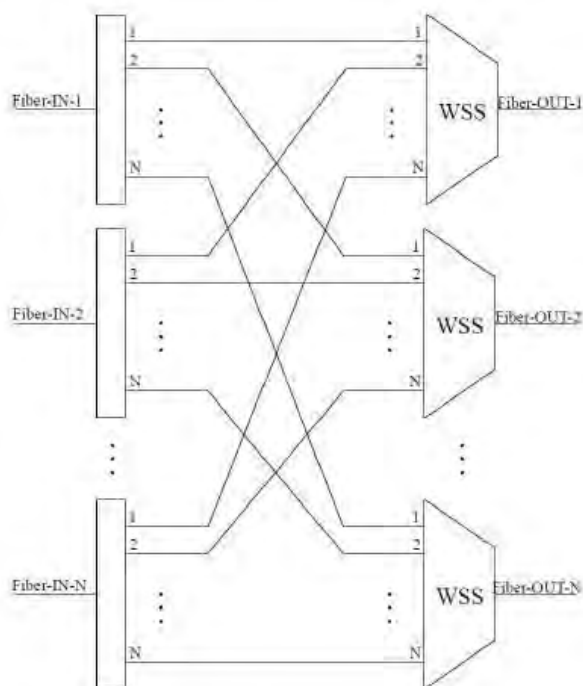


Figura 3: Arquitetura de nó broadcast and select

Suponha que, na i -th fibra da porta de entrada, há um sinal principal $s_i^{fbr}(w)$ (que pode ou não ser um sinal principal com interferência) e um sinal adicional de ruído $r_i^{fbr}(w)$ (que pode incluir várias fontes diferentes como o ruído ASE ou interferência de crosstalk). Além disso, assumamos que o sinal total na i -th porta de entrada pode ser escrita como $s_i^{fbr}(w) + r_i^{fbr}(w)$. Considere que o splitter localizado na i -th fibra de entrada tem uma perda de l_i^{sp} .

4.2 Formulação

O sinal $y_j^S(w)$ na j -th saída do WSS pode ser descrito em função de um vetor de transferência $\underline{\mathbf{G}}_j^T(w)$, uma matriz de comutação $\underline{\mathbf{A}}_j$, um vetor de perdas $\underline{\mathbf{L}}^{sp}$ e um vetor de sinais $\underline{\mathbf{S}}^{fbr}$ da seguinte forma:

$$y_j^S(w) = \frac{1}{N} \underline{\mathbf{G}}_j^T(w) \cdot \left\{ [\underline{\mathbf{A}}_j \cdot \underline{\mathbf{\Pi}}(w)] \otimes [\underline{\mathbf{L}}^{sp} \otimes \underline{\mathbf{S}}^{fbr}] \right\} \quad (23)$$

O ruído e o crosstalk podem ser descritos em função da quantidade N de portas do WSS, uma matriz de comutação $\underline{\mathbf{A}}_j$, um vetor de perdas $\underline{\mathbf{L}}^{sp}$ e o vetor de ruído adicional $\underline{\mathbf{R}}^{fbr}$ da seguinte forma:

$$y_j^S(w) = \frac{1}{N} \underline{\mathbf{G}}_j^T(w) \cdot \left[\underline{\mathbf{L}}^{sp} \otimes \underline{\mathbf{S}}^{fbr} + \underline{\mathbf{L}}^{sp} \otimes \underline{\mathbf{R}}^{fbr} - (\underline{\mathbf{A}}_j \cdot \underline{\mathbf{\Pi}}(w)) \otimes (\underline{\mathbf{L}}^{sp} \otimes \underline{\mathbf{S}}^{fbr}) \right] \quad (24)$$

5 Formulação para arquitetura de nó switch and select

Nesta seção serão aplicados os resultados obtidos em (11) e (22) para estabelecer o modelo analítico para o nó com arquitetura switch and select. Essa arquitetura é mostrada na Figure 3. No nó há N_{bras} de entrada e N_{bras} de saída. As $bras$ de entrada são indexadas com i enquanto as de saída são indexadas com j .

Pode-se calcular o sinal do j -th WSS $N \times 1$ em função de uma matriz de comutação $\underline{\mathbf{A}}_j$ e pelas matrizes $\underline{\mathbf{M}}^T$ e $\underline{\mathbf{C}}^T$ que podem ser calculadas, respectivamente, por $\underline{\mathbf{M}}^T \cdot \underline{\mathbf{E}}_j$ e $\underline{\mathbf{C}}^T \cdot \underline{\mathbf{E}}_j$, como:

$$y_j^S(w) = \underline{\mathbf{G}}_j^T(w) \left[(\underline{\mathbf{A}}_j \cdot \underline{\mathbf{\Pi}}(w)) \otimes (\underline{\mathbf{M}}^T \cdot \underline{\mathbf{E}}_j) \right] \quad (25)$$

E a interferência pode ser calculada como:

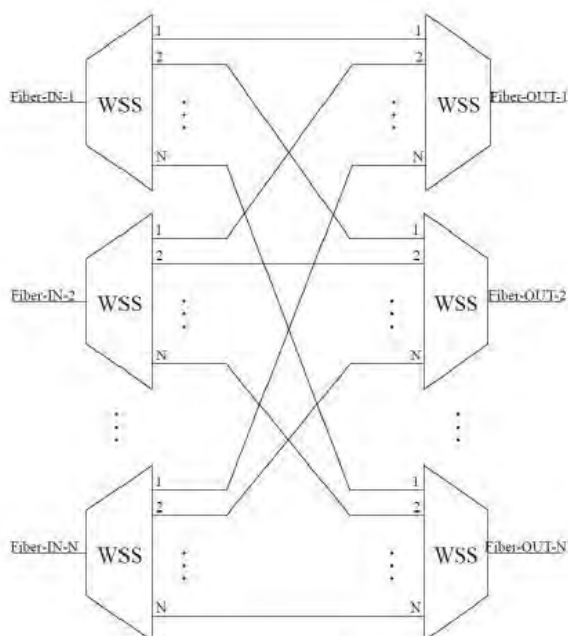


Figura 4: Arquitetura de nó switch and select

$$y_j^S(w) = \underline{\mathbf{G}}_j^T(w) \left[\underline{\mathbf{M}}^T \cdot \underline{\mathbf{E}}_j + \underline{\mathbf{C}}^T \cdot \underline{\mathbf{E}}_j - (\underline{\mathbf{A}}_j \cdot \underline{\mathbf{\Pi}}(w)) \otimes (\underline{\mathbf{M}}^T \cdot \underline{\mathbf{E}}_j) \right] \quad (26)$$

6 Implementação da Modelagem

Esta seção irá comentar a respeito do programa desenvolvido para ser utilizado em simulações.

6.1 Premissas

Para representação dos valores foram utilizadas tabelas csv. Entre elas algumas devem ser preenchidas antes da execução do programa, são elas: Tabela com sianis de entrada dos WSSs, tabelas referentes 6 às funções transferência do primeiro e segundo layer e tabela referente a topologia do nó.

A partir dessas tabelas o programa é capaz de calcular os sianis de saída do layer 1 e alocar, de acordo com a topologia, como sinal de entrada do layer 2 para que possa ser calculado o sinal de saída do layer 2.

Com esses resultados é possível retirar informações sobre o ruído de acordo com a modelagem demonstrada nas seções anteriores.

Sensores MEMS para Análise de Movimento Humano

Itúrbide F. A. S.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
ifas@ecom.poli.br

R. R. Caldas

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Diego Rativa

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo *Dispositivos MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), como acelerômetros, giroscópios, termômetros, são capazes de realizar diversas funções com uma alta precisão e eficiência, e estão presentes em vários sistemas como smartphones e carros. Tais Dispositivos consistem na integração de elementos mecânicos, eletrônicos e sensores em um pequeno chip. Sensores de movimento, como giroscópios e acelerômetros, vem sendo amplamente utilizados, na última década, devido à sua redução de tamanho e custo, sendo assim implantado em smartphones e pequenos chips como o MPU6050. Esta redução de escala dos sensores implicou diretamente em sua utilização como dispositivo não invasivo na avaliação de movimentos humanos, como caminhada, amplitude de movimento de diversas articulações, e até na detecção de convulsões de pacientes com epilepsia. A avaliação da mobilidade da coluna cervical proporciona informações acerca de doenças relacionadas às disfunções articulares. Atualmente, astécnicas mais difundidas são de alto custo e de difícil implementação nas clínicas de pequeno e médio porte, ou quando não, apresentam resultados contrastantes, o que compromete sua confiabilidade. Neste trabalho, propomos um sistema baseado em sensores inerciais para auxiliar a avaliação física, na mensuração das amplitudes de movimento (ADM), que, como dito anteriormente, pode ser utilizado em diversas aplicações, dentro delas foi escolhido avaliar a ADM da coluna cervical. Os sistemas propostos são: (a) dois sensores inerciais conectados a um microprocessador Arduino; (b) Aplicativo android para aquisição de dados dos sensores inerciais de um smartphone. Os experimentos compreenderam medidas simultâneas do sistema e do goniômetro manual para cada movimento, os dados estão apresentados através da média $\pm$ desvio-padrão. Após o processamento dos dados, as ADM's foram obtidas a partir do reconhecimento dos picos do sinal. Na comparação entre as medidas, enquanto os resultados para movimentos rotacionais da cervical demonstraram equivalência, os de flexão, extensão, flexão lateral esquerda e direita apresentaram grandes discrepâncias. Esse fato se justifica dado o ponto de referência utilizado pelo goniômetro na vértebra C7 para estes movimentos, evidenciando sobretudo o movimento da porção inferior da cervical. O sistema desenvolvido, por sua vez, expressou a dimensão do movimento em sua totalidade. Um artigo foi submetido e aceito no XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2014, com o título de Goniometria Baseada em Sensores Inerciais na Análise dos Movimentos da Coluna Cervical.*

Abstract *Micro-Electro-Mechanical Systems such as accelerometers, gyroscopes, thermometers are able of perform various functions with high accuracy and efficiency, and are present in various systems such as smartphones and cars. Such devices consist of the integration of mechanical, electronics and sensor elements in a small chip. Motion sensors, such as gyroscopes and accelerometers, has been widely used in the last decade due to its reduced size and cost, thus implanted in smartphones and small chips as MPU6050. This downscaling of sensors directly involved in its use as a noninvasive device in the evaluation of human movements such as walking, range of motion of various joints, and even in convulsions detection on patients with epilepsy. The mobility evaluation of the neck provides information about disorders related to joint dysfunction. Current assessment techniques presente contradictory results regarding its reliability or are costly and hard to implement in small clinical centers. In this paper, we propose an inertial sensor-based system to improve the physical assessment, measuring range of motion (ROM) of the cervical spine. The proposed systems are: (a)two inertial sensors connected to an Arduino microprocessor; (b) Android application to inertial sensor data acquisition of smartphones. The experiments comprised simultaneous measurements of the system and the*

manual goniometer for each movement, the data is presented by mean $\pm$ standard deviation. After processing the data, ROM's were obtained from the recognition of signal peaks. The results for rotational movements of the neck are equivalent to the obtained by manual goniometry. However, the flexion, extension, left and right side bend movements showed large discrepancies, this fact is justified by the reference point (C7 vertebra), used in goniometry to evaluate these movements, mostly showing the movement of the lower portion of the cervical. Therefore, the developed system express the movement dimension in its totality, opening new opportunities to be explored in mobility evaluation techniques. A paper was submitted and accepted into the XXIV Brazilian Congress on Biomedical Engineering, 2014, with the title of goniometry Inertial Sensors Based on Analysis of Movements of the Cervical Spine.

1 Introdução

O giroscópio foi inventado em 1850 por Jean Bernard Léon Foucault (1819 - 1868), que utilizou para mostrar que a Terra de fato gira sobre seu próprio eixo. Trata-se de um instrumento livre para girar em qualquer direção, porém, quando em rotação, tende-se a se opor à mudanças de direção. Podemos, então, concluir que o eixo de rotação possui memória, tendo sua direção fixa. A ampla utilização de tais dispositivos em carros, smartphones, controles de vídeo games, entre outros, se dá devido ao baixo custo e sua implantação em MEMS.

Com a facilidade de acesso à tais tecnologias, vários trabalhos têm aliado os recursos disponíveis nos sensores inerciais, como giroscópios e acelerômetros, à necessidade de instrumentação na área de saúde [1][2][3]. Isso se deve à capacidade de tais sensores captarem medidas de variação de velocidade angular e aceleração linear [4][5], normalmente associados a estudos do movimento do corpo humano. Bem como, por serem considerados de baixo custo, elevada precisão e confiabilidade [6]. Assim, o uso destes sensores pode tornar tal tipo de análise mais prática.

Uma importante avaliação de movimento do corpo humano realizada é sobre a mobilidade da coluna cervical, que pode ser afetada por diversas doenças e condições clínicas, como Doenças Osteomioarticulares Relacionadas ao Trabalho (DORT), Síndrome do chicote, Cefaleia tensional e Cervicalgia de origem não específica, Disfunções na articulação temporomandibular (DTM) e musculatura mastigatória [7][8][9][10]. Na avaliação física, a mensuração desse parâmetro se dá pela quantificação da Amplitude de Movimento (ADM). Nesse contexto, a Radiografia é considerada o padrão ouro para estabelecer um critério de validade das medidas articulares [11], porém não é um método prático para rotina clínica e expõe os pacientes à indesejável radiação ionizante [12].

Outro método de avaliação dos movimentos, bastante utilizado no âmbito acadêmico, é representado pelos softwares de reconhecimento de imagens através de marcadores cutâneos. Contudo, sua aplicação é muito onerosa e de difícil implementação em consultórios de pequeno porte, devido ao grande número de câmeras e o custo do software necessário [13]. No que concerne à prática clínica, a goniometria manual configura como uma técnica bastante utilizada [14], entretanto, os estudos que verificam a confiabilidade do uso do goniômetro apresentam resultados contraditórios [14][15][16].

Neste trabalho, o sistema proposto é baseado em sensores inerciais para suporte à avaliação dos movimentos do corpo humano. O dispositivo proporciona valores das amplitudes de movimentos das articulações do corpo, como

cotovelo, cervical, joelho, tornando o exame físico mais prático, de baixo custo e alta acurácia.

2 Materiais e métodos

2.1 Sensores Inerciais

Foram utilizados dois giroscópios e dois acelerômetros MPU 6050 [17], coordenados por um microcontrolador Arduino (Figura 1), calibrados através da implementação do filtro de Kalman [18][19]. O sistema foi concebido pela integração dos sensores de forma que os eixos Z ficassem na mesma direção, porém em sentidos contrários, permitindo assim anular o efeito da perda linear de referência do eixo Z com a diferença de cada amostra dos dois sinais [20]. O eixo em questão foi imprescindível para quantificar os movimentos de rotação lateral da cervical.

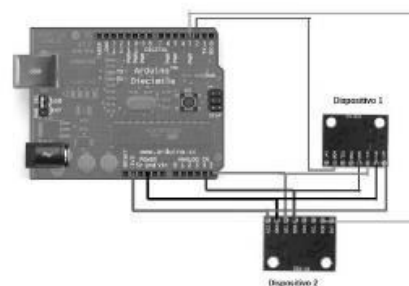


Fig. 1. Sistema proposto composto por dois MPU 6050 e um microcontrolador arduino.

2.1.2 Inter-Integrated Circuit

O MPU 6050 utiliza a comunicação Inter Integrated Circuit (I²C) com o Arduino [21][22], que consiste em um barramento serial que conecta vários periféricos ao dispositivo controlador (Figura 2). O I²C utiliza uma linha serial de comunicação SDA, Serial Data Line, e uma linha serial de sincronização (clock) SCL, Serial Clock Line. A velocidade de uma comunicação I²C é limitada a 3.4 Mbits/s no modo High Speed, e 10 kbits/s no modo Low Speed [19],[20] e o número de dispositivos é limitado pelo espaço de endereço que no MPU6050 é de apenas 1 bit, possibilitando apenas a conexão de 2 dispositivos[17].

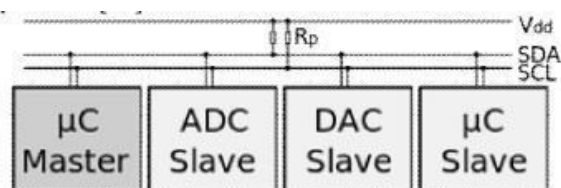


Fig. 2. Exemplo de comunicação I²C.

O uso de mais de um dispositivo foi viabilizado por TDM (Time Division Multiplexing), cuja implementação foi realizada diretamente no arduino, alternando os valores do pino AD0 (Adress) de cada dispositivo. Esta forma de implementação permite a conexão de mais de dois MPU 6050 ao mesmo controlador, podendo, desta forma, ser utilizado na análise de outros movimentos do corpo humano, quando necessário.

A utilização de TDM diminui a taxa de aquisição de dados, porém a velocidade padrão de 100 kbits/s mostrou uma taxa de amostragem média de 50 amostras por segundo para cada um dos dois dispositivos utilizados, sendo essa taxa suficiente para os fins do presente trabalho.

2.2 Smartphone

Com a integração de giroscópios, acelerômetros e Smartphones, foi possível implementar um aplicativo capaz de gravar as informações dos sensores inerciais do aparelho (Figura 3). Isto possibilitará, em trabalhos futuros, a comparação dos dados obtidos pelo sistema de MPU6050 e arduino com os dados do smartphone.

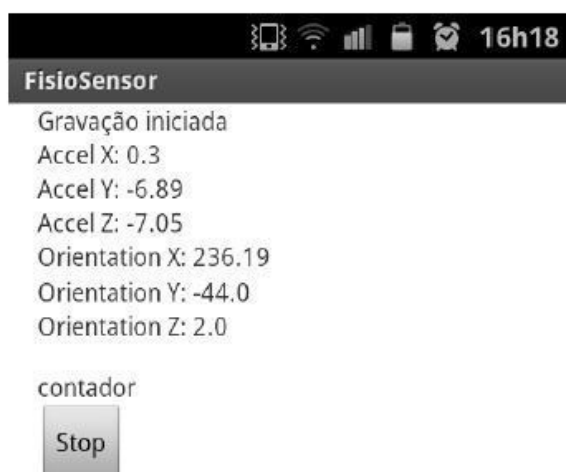


Fig. 3. Aplicativo Android para obtenção dos dados dos sensores inerciais do smartphone

2.3 Experimentos

A presente pesquisa obteve aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Pernambuco (Parecer nº 019384/2014).

Para o procedimento de medição das ADM's da cervical, o voluntário permaneceu sentado em uma cadeira regulável com os pés sobre o chão, a coluna ereta e bem apoiada no encosto.

O sistema foi posicionado na parte frontal da cabeça (Figura 4), considerando que a velocidade angular independe do raio de observação. Quanto aos movimentos, o voluntário foi orientado a realizar, em velocidade moderada, quarenta repetições, divididas em blocos de 4 movimentos, de cada movimento (i.e. Flexão, Extensão, Flexão Lateral esquerda e direita, Rotação esquerda e direita). Sendo geradas trinta medidas de ADM, das quais foram extraídos média e desvio padrão. Os valores médios do ângulo adquiridos pelo sistema aqui proposto foram obtidos e analisados de maneira instantânea e comparados a posteriori a dados de goniometria manual (tempo da análise de acordo com o processamento de imagens) [23].

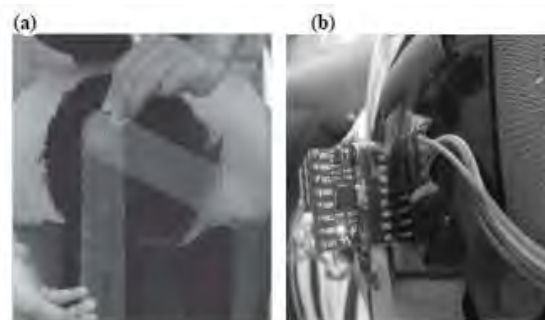


Fig. 4. (a) Posicionamento do goniômetro, alinhado com a sutura sagital do crânio, e (b) do sensor inercial para avaliação dos movimentos de rotação esquerda e direita.

2.4 Processamento do Sinal

As informações captadas pelos sensores foram processadas pelo MATLAB a fim de obter os valores de amplitude de movimento da coluna cervical. Para isso, foi necessário o reconhecimento dos máximos e mínimos dos sinais obtidos pelo giroscópio. Esses dados, por sua vez, caracterizam o começo e o fim de cada movimento.

Dado a presença de um ruído de baixa intensidade e alta frequência no sinal obtido. O seguinte algoritmo foi implementado para reconhecimento independente do ruído:

1. Calcular a média do sinal;

2. Subtrair todo o sinal pela média, centralizando o sinal em zero;
3. Identificar todos os zeros;
4. Procurar o maior ou menor valor entre cada dois zeros identificados.

A partir do reconhecimento dos picos do sinal, foi realizado o cálculo da diferença entre os valores absolutos de cada máximo do sinal com o mínimo posterior a ele (Figura 5). Dessa forma, permitindo a aquisição da amplitude total de cada movimento.

3 Resultados e Discussões

Após a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, o voluntário foi avaliado de acordo com os critérios de inclusão e exclusão descritos no projeto do comitê de ética. Foi realizada uma explicação sobre a conduta adotada para esta pesquisa e um teste preliminar, a fim de verificar o entendimento do participante. A partir dos dados obtidos, gerou-se gráficos para cada tipo de movimento da coluna cervical, como representado na figura a seguir.

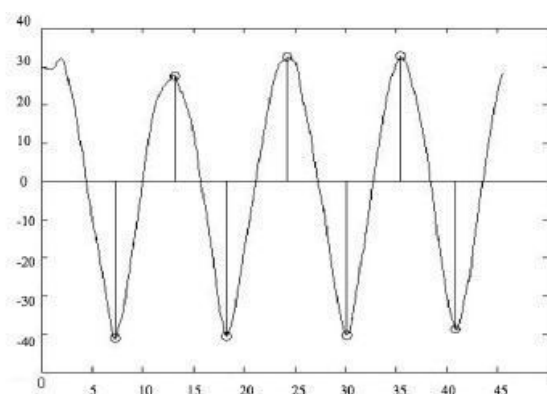


Fig. 5. Sinal com os picos, em graus (eixo y), em determinado período, em segundos (eixo x), reconhecidos após a aplicação do algoritmo.

Os resultados adquiridos nas coletas estão dispostos na Tabela 1 e correspondem às medidas realizadas simultaneamente para cada movimento.

Tabela 1. Medidas das amplitudes de movimento (em graus) da cervical.

Movimento	Goniômetro	Giroscópio
Flexão	66.53±1.48°	73.49±2.88°
Extensão	63.6±2.70°	71.54±4.59°
Flexão Lateral Esquerda	44.30±2.82°	49.66±2.17°
Flexão Lateral Direita	38.43±3.63°	49.23±3.47°
Rotação Esquerda	63.93±2.37°	66.13±2.18°
Rotação Direita	61.5±3.14°	58.16±2.50°

Para os movimentos de flexão, extensão, flexão lateral esquerda e direita, é possível perceber uma diferença considerável entre os valores obtidos pelos dispositivos de avaliação. Atribui-se a isso, o fato de que a referência utilizada para o goniômetro manual ser a vértebra C7, a qual compõe a coluna cervical baixa [24]. Como verificado na Figura 7(a), para o caso da flexão, a goniometria manual mensura unicamente o ângulo (θ) compreendido entre a coluna cervical baixa e média, tendo como eixo a vértebra C7.

Por sua vez, o sistema com sensor inercial, Figura 6(c), encontra-se localizado na cabeça, proporcionando uma magnitude de movimento mais expressiva, haja vista a participação das porções média e alta da cervical [25]. Sendo assim, o sistema é capaz de perceber a resultante do movimento da coluna cervical como um todo (i.e. $\theta + \alpha$). Inclusive o movimento angular que ocorre entre a vértebra C1 e a parte occipital do crânio (α), diferentemente das informações fornecidas pelo goniômetro manual.

Ao considerar os movimentos rotacionais, os quais ocorrem em torno do eixo longitudinal e no plano transversal, não seria esperada diferença entre as medidas realizadas, Figura 6(b) e 6(d). Isso é corroborado pelos resultados dessa pesquisa, os quais são similares para ambos os lados.

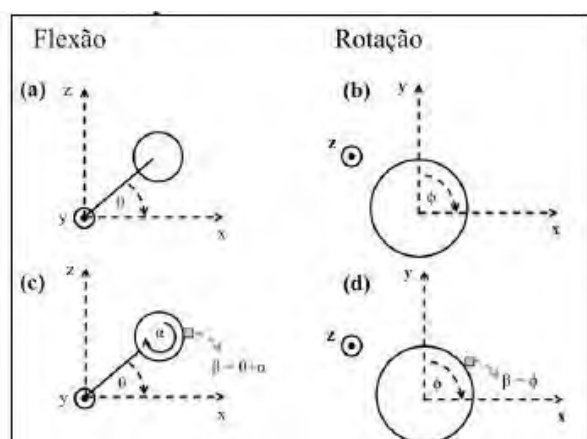


Fig. 6. Representação esquemática da análise da goniometria manual para os movimentos de flexão (a) e de rotação lateral (b); e da análise da goniometria baseada em sensores inerciais para os movimentos de flexão (c) e rotação lateral (d).

4 Conclusão

O sistema baseado em sensores inerciais permite adquirir as amplitudes angulares dos movimentos da coluna cervical. Entretanto, os valores obtidos diferem dos dados da goniometria manual, em consequência de a referência da avaliação convencional ser diferente para os movimentos no plano frontal e no mediano. Diante desses encorajadores resultados preliminares, se faz necessária a realização de exaustivas pesquisas com tais dispositivos, a fim de elucidar todas as possibilidades de informações que podem ser adquiridas pelos sensores em questão. Isso além de avaliar eventuais variações individuais que possam interferir nas medições.

Devido à capacidade dos sensores inerciais de medir tanto ângulo, como aceleração angular, é possível adicionalmente explorar essa ferramenta para inferir sobre a qualidade com que os deslocamentos são executados. Essa informação promoveria um avanço para a prática da avaliação, já que é uma informação relevante e, hoje, pouco observada pelos profissionais, talvez pela falta de ferramentas apropriadas. Porém difícil de se mensurar de forma quantitativa, graças a sua subjetividade, o que dificulta a comparação após o tratamento.

A elaboração do hardware para realização deste experimento possibilita também a medição de amplitude de movimentos em outras diversas articulações. Sendo ele um dispositivo não invasivo, de alta precisão e baixo custo, um estudo em aumento de robustez e confiabilidade pode conduzir à substituição dos métodos tradicionais pelo sistema proposto em alguns casos. A realização desta iniciação científica resultou na publicação de um artigo no XXIV

Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2014, com o seguinte título: Goniometria Baseada em Sensores Inerciais na Análise dos Movimentos da Coluna Cervical[26].

Referências

- [1] Duc C, Salvia P, Lubansu A, Feipel V, Aminian K. A wearable inertial system to assess the cervical spine mobility: Comparison with an optoelectronic-based motion capture evaluation. *Medical Engineering & Physics*. 2014; 36(1):49-56.
- [2] Howcroft J, Kofman J, Lemaire ED. Review of fall risk assessment in geriatric populations using inertial sensors. *Journal of Neuroengineering and rehabilitation*. 2013; 91(10):1-21.
- [3] Chung PYM, Ng GYF. Comparison between an accelerometer and a three-dimensional motion analysis system for the detection of movement. *Physiotherapy*. 2012; 98(3):256-9
- [4] Bonnet V, Mazzà C, McCamley J, Cappozzo A. Use of weighted Fourier linear combiner filters to estimate lower trunk 3D orientation from gyroscope sensors data. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2013; 10(29):1-7.
- [5] Ueno DT, Sebastião E, Corrazza DI, Gobbi S. Methods for assessing physical activity: a systematic review focused on older adults. *Brazilian Journal of Kinesiology and Human Performance*. 2013; 15(2):256-65.
- [6] Mohd-Yasin F, Zaiyadi N, Nagel DJ, Ong DS, Korman CE, Faidz AR. Noise and reliability measurement of a three-axis micro-accelerometer. *Microelectronic Engineering*. 2009; 86(4):991-5.
- [7] Strimpakos N. The assessment of cervical spine. Part 1: Range of motion and proprioception. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*. 2011; 15(1):114-124.
- [8] Gross A, Miller J, D'Sylva J, Burnie SJ, Goldsmith CH, Graham N, Haines T, Brønfort G, Hoving JL. Manipulation or mobilisation for neck pain: Systematic review. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2010; (1):315-33.
- [9] Biondi DM. Physical treatments for headache: A structured review. *Headache*; 2005; 45(6):738-46.

- [10] Olivo AS, Magee DJ, Parfitt M, Major P, Tie NM. The association between the cervical spine, the stomatognathic system, and craniofacial pain: a critical review. *Journal of Orofacial Pain*. 2006; 20(4):271-87.
- [11] Lavernia C, D'Apuzzo M, Ross MD, Lee D. Accuracy of knee range of motion assessment after total knee arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty*. 2008; 23(6):85-91.
- [12] Florencio LL, Pereira A, Silva ERT, Pegoretti KAS, Gonçalves MAC, Bevilaqua-Grosse D. Concordância e confiabilidade de dois métodos não-invasivos para a avaliação da amplitude de movimento cervical em adultos jovens. *Brazilian Journal of Physical Therapy*. 2010; 14(2):175-81.
- [13] Pohl MB, Patel C, Wiley JP, Ferber R. Gait biomechanics and hip muscular strength in patients with patellofemoral osteoarthritis. *Gait & Posture*. 2013; 37(3):440-4.
- [14] Cleffken B, Breukelen GV, Mameren HV, Brink P, Damink SO. Test-retest reproducibility of elbow goniometric measurements in a rigid double-blinded protocol: Intervals for distinguishing between measurement error and clinical change. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2007; 16(6):788-94.
- [15] Wibault J, Vaillant J, Vuillerme N, Dederig A, Peolsson A. Using the cervical range of motion (CROM) device to assess head repositioning accuracy in individuals with cervical radiculopathy in comparison to neck- healthy individuals. *Manual Therapy*. 2013; 18(5): 403-9.
- [16] Austin MS, Ghanem S, Joshi A, Trappler R, Parvisi J, Hozack WJ. The assessment of intraoperative prosthetic knee range of motion using two methods. *The Journal of Arthroplasty*. 2008; 23(4):515-21.
- [17] InvenSense inc. MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.2, 2011.
- [18] Djurić-Joviić MD, Jovicic NS, Popović DB, Djordjević AR. Nonlinear optimization for drift removal in estimation of gait kinematics based on accelerometers. *Journal of Biomechanics*. 2012; 45(16):2849-54.
- [19] Jurman D, Jankovec M, Kamnik R, Topič M. Calibration and data fusion solution for the miniature attitude and heading reference system. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2007; 138 (2): 411-20.
- [20] Roeteberg D, Luinge HJ, Baten CTM, Veltink PH. Compensation of magnetic disturbances improves inertial and magnetic sensing of human body segment orientation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2005; 13 (3): 395-405.
- [21] UM10204 - I²C-bus specification and user manual NXP Semiconductors. 2014; Revision 6:1-64.
- [22] Eisenreich D, DeMuth B. Designing Embedded Internet Devices, A volume in Embedded Technology. 2002.
- [23] Norkin CC, White DJ. Measurement of joint motion: a guide to goniometry. 4^a ed. Philadelphia: F. A. Davis; 2009.
- [24] Chaves TC, Nagamine HM, Belli JFC, de Hannai MCT, Bevilaqua-Grossi D, de Oliveira AS. Reliability of fleximetry and goniometry for assessing neck range of motion among children. *Brazilian Journal of Physical Therapy*. 2008; 12(4):283-9.
- [25] Swartz EE, Floyd RT, Cendoma M. Cervical spine functional anatomy and the biomechanics of injury due to compressive loading. *Journal of Athletic Training*. 2005; 40(3):155-61.
- [26] R.R. Caldas, Itúrbide F.A.S., F. Buarque L.N., Diego Rativa. Goniometria Baseada em Sensores Inerciais na análise dos Movimentos Da Coluna Cervical. Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2014.

Mapeamento e Reconstrução 3D com a utilização da Estereoscopia e SURF

Cordeiro, J. N. N.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
jcnn@ecomppoli.br

Fernandes, B. J. T.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo

A visão estereoscópica simula a visão humana computacionalmente utilizando duas imagens distintas do mesmo cenário, neste trabalho é utilizada essa técnica para realizar a reconstrução 3D de um cenário. É feito o uso de algoritmos de visão computacional, tais como o detector de características, SURF, utilizado para marcar pontos nas duas imagens e para refinar os resultados e garantir uma reconstrução mais próxima do real é utilizado o algoritmo RANSAC.

Abstract

The stereoscopic vision simulates human vision computationally using two different images of the same scene, in this study this technique is used, to perform the 3D reconstruction of a scene. The use of computer vision algorithms, such as how the detector characteristics, SURF, is used to score points made in the two images and to refine the results and ensure reconstruction of nearest real the RANSAC algorithm is used.

1 Introdução

A construção de mapas 3D é importante em várias linhas de pesquisa e áreas do conhecimento, são algumas delas: topografia, na exploração de terrenos desconhecidos[1], exploração e reconhecimento do ambiente de outros planetas[2] ambiente subaquáticos[3] em geral, onde a presença humana se torna inviável.

As últimas décadas foram marcadas pelo rápido crescimento da tecnologia do escaneamento 3D, entre as quais destacam-se: câmeras estereoscópicas[4] câmeras LIDAR (Câmeras de Light Detection and Ranging[5] e o Microsoft Kinect[6].

Esse trabalho visa à investigação do modelo de Visão estereoscópica com o auxílio do algoritmo SURF, para ser aplicado na área de mapeamento e reconstrução 3D. Utilizaremos ainda o algoritmo RANSAC para refinar os resultados.

A estereoscopia é uma técnica que possui motivação biológica, com sua atuação seguindo os mesmos princípios que regem a formação da imagem 3D pelo olho humano, de forma computacional, é feita utilizando um par de câmeras digitais posicionadas do lado. As imagens captadas deverão estar direcionadas para um mesmo local, com isso terão pequenas diferenças entre si, essas diferenças são conhecidas como disparidades. Através dessas disparidades pode-se calcular a profundidade de um determinado ponto encontrado no cenário e montar um mapa 3D a partir disso.

Um problema enfrentado para o uso da estereoscopia é encontrar o mesmo ponto em ambas as imagens[7], uma das soluções encontradas tem como base achar pontos de interesse na primeira imagem e na segunda imagem, em seguida buscar tentar combiná-los, porém mudanças de iluminação, escala e rotação acabam dificultando a marcação desse mesmo ponto, ou aumentando o custo computacional[8]. Para resolver esse problema a ideia é utilizar o SURF para marcar o mesmo ponto de interesse nas duas imagens, independente da mudança de escala, rotação ou iluminação.

2 Técnica Proposta

Neste artigo é proposta uma abordagem específica para realização de uma reconstrução 3D, baseando-se, primeiramente na técnica da estereoscopia[9], onde simula-se a visão humana com duas câmeras alinhadas, mas com angulações diferentes, a partir dessas câmeras obtém-se duas imagens, uma esquerda e outra direita. Após a aquisição das imagens o algoritmo do SURF é aplicado,

definido pontos de interesse nas duas imagens, feita a identificação desses pontos de interesse a correlação dos pontos e os cálculos de disparidade são feitos. Para correção e refinamento do mapa de pontos é aplicado o algoritmo do RANSAC que elimina outliers dos pontos correlacionados. O fluxograma abaixo resume os passos utilizados neste trabalho para a reconstrução 3D:



Fig 1. Fluxograma de representação da técnica proposta

2.1 Visão Estereoscópica

A visão computacional é formada por algoritmos que retiram informações a partir de imagens para aplicações específicas como o reconhecimento de cores ou de objetos. A visão estereoscópica é uma subárea da visão computacional que possui motivação biológica, baseando-se na visão humana, em que para enxergar um ponto, os dois olhos devem estar fixados neste, de maneira que eles apontem diretamente para o ponto em questão, para essa simulação, um hardware deve ser dotado de duas câmeras capturando imagens de pontos distintos, simulando a noção geométrica da visão.

Para a sensação de profundidade de um objeto[10], é feita uma análise matemática baseada no modelo representado na figura 2, utilizando-se artifícios de triangulação e trigonometria, com seus valores descritos de acordo com a tabela 1.

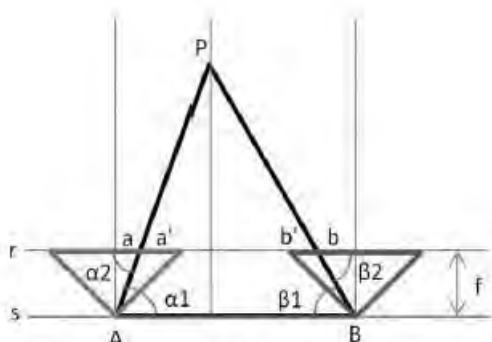


Fig 2. Representação do posicionamento das câmeras e do ponto de interesse

Tabela 1. Símbolos e Notações.

Símbolo	Legenda
<i>A</i>	Posição da Câmera Esquerda
<i>B</i>	Posição da Câmera Direita
<i>f</i>	Distância Focal das Câmeras
<i>X</i>	Distância entre as Câmeras
<i>P</i>	Ponto de Interesse
<i>Xe</i>	Distância do ponto <i>P</i> projetado no plano da imagem esquerda, até a origem
<i>Xd</i>	Distância do ponto <i>P</i> projetado no plano da imagem direita, até a origem
<i>D</i>	Distância do ponto <i>P</i> ao plano formado pelas duas câmeras

Após algumas análises, e desenvolvimento de equações, Ribeiro et. Al[7] chegou a equação 1 que descreve a distância de um ponto de interesse ao plano que se encontram as duas câmeras, sendo possível então utilizarmos essa informação para sabermos a profundidade desse ponto até onde a imagem foi tirada.

$$D = \frac{fX}{|Xe - Xd|}$$

Reconstrução 3D[11] é um conjunto de técnicas e métodos para transformar dados em imagem através de um dispositivo gráfico. Neste artigo iremos tratar da reconstrução 3D como sendo a utilização da técnica de estereoscopia para transformar uma imagem em um mapa de pontos 3D.

Dessa forma, utilizando a equação 1 e as imagens da figura 3, fazendo uso da técnica da estereoscopia, é possível construir um mapa de pontos 3D do cenário.



Fig 3. Imagens utilizadas para a Reconstrução 3D

2.2 Identificação de Pontos de Interesse e Correlação

Para utilizar a técnica de estereoscopia faz-se necessário a identificação de um mesmo ponto nas duas imagens e correlacioná-los[12]. Os pontos de interesse são portanto pontos candidatos a correlação, de modo que possam ser localizados nas duas imagens. É necessário a marcação de vários pontos de interesse para tentar correlacioná-los nas duas imagens.

A estereoscopia enfrenta algumas adversidades, entre elas estão a oclusão de pontos e a marcação e correlação dos mesmos pontos nas duas imagens. A oclusão de pontos ocorre quando na imagem obtida por uma das câmeras é possível a identificação de um certo ponto, mas na imagem obtida pela segunda câmera não é possível encontrar o mesmo ponto, tornando-o ocluído, problema até então, não solucionado.

O problema da correlação dos mesmos pontos em ambas as imagens pode se dar de duas formas, a partir da não identificação do mesmo ponto nas duas imagens e da afirmação que um ponto de uma imagem é o mesmo ponto na segunda imagem.

Para solucionar o problema da marcação do mesmo ponto nas duas imagens são utilizados vários pontos de interesse para aumentar as chances de sucesso na correlação dos pontos.

Para se encontrar os pontos de interesse, diversas técnicas podem ser utilizadas, tais como a identificação por cor, máxima variância, quinas ou luminosidade.

Após a eleição de diversos pontos de interesse os mesmos devem ser propriamente correlacionados com a maior precisão possível para que se possa efetuar os cálculos de profundidade com precisão.

Duas abordagens podem ser utilizadas para a realização da correlação dos pontos de interesse, a primeira abordagem consiste em achar pontos de interesse apenas na primeira imagem e procurar seus correspondentes na segunda imagem, porém esse processo torna-se custoso devido a quantidade de combinações existentes, a segunda consiste em encontrar pontos de interesse em ambas as imagens e depois tentar correlacioná-los, contudo alguns pontos encontrados podem não ter um par correto.

Nesse trabalho será utilizada a segunda abordagem, que é mais compatível com a função empregada pelo algoritmo SURF para encontrar os pontos de interesse, isso se dá devido ao seu bom desempenho mesmo com mudanças de escala, rotação, iluminação ou transformações geométricas[8].

2.3 Algoritmo SURF

O algoritmo SURF (Speeded Up Robust Features) [13] é uma algoritmo baseado nas somas de Haar-Wavelet, que funciona como um detector de características comumente utilizado dentro dos ramos da visão computacional.

Neste trabalho o algoritmo do SURF é aplicado nas duas imagens para a marcação de pontos de interesse, por ele ser robusto e ter um bom desempenho. O resultado da aplicação do algoritmo de SURF pode ser visualizado na figura 4.

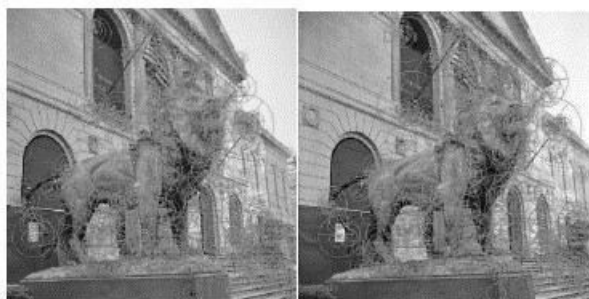


Fig 4. Imagens após aplicação do algoritmo SURF

Após a aplicação do SURF e passada a etapa de correlação, pode ocorrer de alguns pontos estarem correlacionados de forma errada, alguns pontos podem não encontrar o seu correspondente, ou acharem um correspondente errado, na figura 5 podemos verificar o resultado da correlação de forma bruta, com essas marcações equivocadas, que geram outliers.

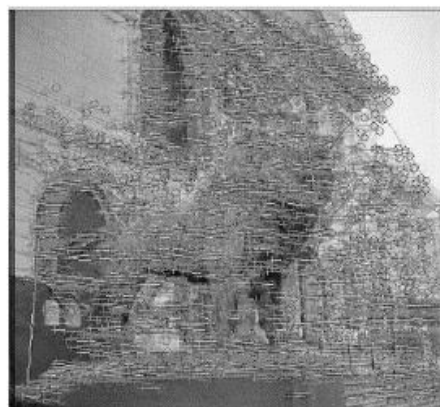


Fig 5. Correlação das imagens com imperfeições

2.4 Algoritmo RANSAC

De acordo com o que foi observado na figura 5 há correlações que se encontram fora do padrão, chamadas de outliers, essas correlações equivocadas afetam o cálculo de diparidades que por sua vez pode resultar em uma reconstrução 3D que foge ao padrão ideal.

O algoritmo do RANSAC (Random Sample Consensus) [14] é um método iterativo para estimar parâmetros de um modelo matemático, na perspectiva adotada pela reconstrução 3D nesse artigo o algoritmo do RANSAC realiza um aprimoramento do resultado das correlações de pontos de interesse.

O algoritmo do RANSAC foi utilizado para realizar um refinamento do resultado, eliminando as correlações outliers, de modo que dado um conjunto de pontos correlacionados, o algoritmo procura estabelecer um modelo matemático que agrupe o maior número de pontos(inliers), excluindo os pontos que tiveram a correlação fora do padrão(outliers) como pode ser visto na figura 6.

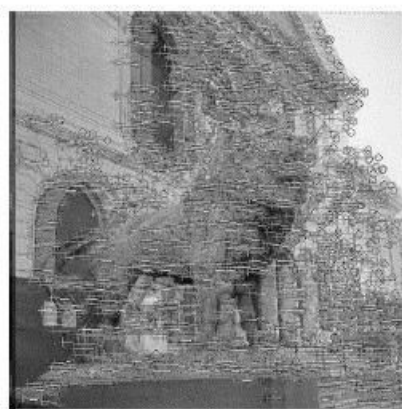


Fig 6. Correlação das imagens sem imperfeições

3 Resultados

Como descrito em seções anteriores o SURF obteve sucesso na marcação de pontos de interesse nas duas imagens, como observado na figura 4, contudo ao realizar correlação dos pontos alguns se correlacionaram de forma equivocada. Ao calcular a distância a esses pontos, valores fora do ideal são obtidos.

Após a aplicação do algoritmo RANSAC, os pontos que tiveram uma correlação diferente do padrão da maioria foram desprezados, com isso o vetor de pontos de profundidade, diminuiu em cerca de 5%. Observa-se na figura 7, o resultado final da reconstrução 3D

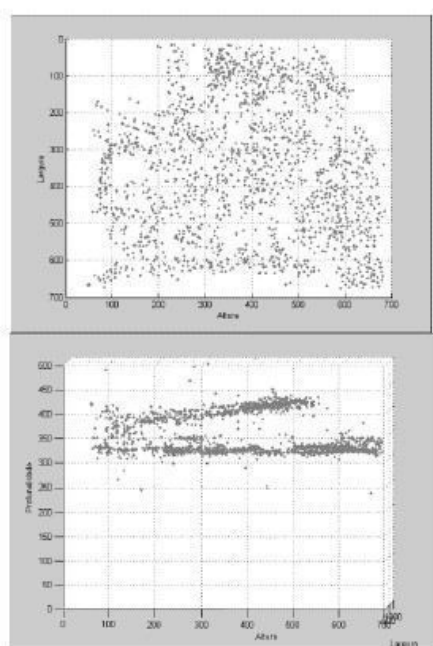


Fig 7. Reconstrução 3D

4 Conclusão

Este trabalho apresentou um algoritmo para reconstrução 3D utilizando a técnica da estereoscopia aliada aos algoritmos já existentes de visão computacional, o SURF, que marca pontos de interesse e o RANSAC que refina resultados.

Um dos problemas apresentados para a técnica de estereoscopia foi a marcação de pontos de interesse, em que foi utilizada uma abordagem que marca pontos de interesse nas duas imagens e tenta correlacioná-los, feita pelo SURF.

Outro problema explanado foram os outliers, correlações equivocadas realizadas por pontos marcados pelo algoritmo do SURF, e que foram removidas com o algoritmo do RANSAC que estima parâmetros para as correlações e remove as que fujam a esse padrão.

Futuramente visa-se a possibilidade de utilizar uma plataforma robótica equipada com duas câmeras que aplique a técnica descrita neste trabalho para realizar uma reconstrução 3D.

Referências

- [1] Kapoutsis, A.C., C.S.D.L.B.d.S.J.e.K.E.: Autonomous navigation of teams of unmanned aerial or underwater vehicles for exploration of unknown static dynamic environments. In: 21st Mediterranean Conference on Control Automation (MED). (2013), pp.1181-1188.
- [2] Salamunicar, G., L.S.G.A.e.W.C.: Hybrid method for detection of lunar craters based on topography reconstruction from optical images. In: 2011 7th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA). (2011). pp.597-602.
- [3] Nygren, I e Jansson, M.: Terrain navigation for underwater vehicles using the correlator method. In: IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol 29.(2004) pp. 906-915.
- [4] S. Liu, L.Z.e.J.L.: The applications and summary of three dimensional reconstruction based on stereo vision. In: International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering, IEEE (2012) pp. 620-623.
- [5] Khattak, S.R.; GAMERLab. U.o.O.I.o.T.O.O.C..B.D..H.A.: Reconstructing 3d buildings from lidar using level set methods. In: Computer and Robot Vision (CRV), 2013 International Conference on, IEEE (2008) pp.151-158.
- [6] J. Han, L. Shao, D.X.e.J.S.: Enhanced computer vision with microsoft Kinect sensor: A review. In: IEEE Transactions on Cybernetics, vol. 43, IEEE (2013). Pp.1318-1334.
- [7] Ribeiro, G.P.E.: Estereoscopia no cálculo de distância e controle de plataforma robótica. (2012).
- [8] Szczuko, P.: Inuence of image transformations and quality degradations on surf detector

- iciency. In: Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA), IEEE (2013). pp.285-290.
- [9] McAllister, D.F.: Stereo and 3-d display technologies. In: Encyclopedia of Imaging Science and Technology, John Wiley Son. (2002) pp.1327-1344.
- [10] Lipton, L.: Foundations of the stereoscopic cinema a study in depth. In: Van Nostrand Reinhold Company. (1982).
- [11] Foley, J.D.: Introduction to computer graphics. In: Addison-Wesley. (1993)
- [12] Galindo, J.R.F.: Analise da reconstrucao 3d a partir de um par estereoscopico hrccd/cbers-2, usando dois modelos matematicos. In: Disserta de Mestrado,UNESP (2008).
- [13] H. Bay, A. Ess, T.T., Gool., L.V.: Surf: Speeded up robust features. In: Computer Vision and Image Understanding. (2008). pp.346-359.
- [14] Fischler, M., Bollers., R.: Random sample consensus:a paradigm for model setting with applications to image analysis and automated cartography. In: Communications of the ACM. (1981). pp.381-395.

Wi-Fi na Escola Politécnica de Pernambuco

Alves, O. C. P.

Escola Politécnica de Pernambuco

Universidade de Pernambuco

50.720-001 - Recife, Brasil

ocpa@ecomp.poli.br

Resumo

Este artigo descreve uma pesquisa bibliográfica realizada com o intuito de potencializar o laboratório de Redes Wi-Fi existente na Escola Politécnica de Pernambuco, através de um projeto que visa renová-lo com a aquisição de novos equipamentos e plataformas para a melhoria dos mesmos. Tal desenvolvimento possibilitará, como consequência, a condução de experimentos e pesquisas na área de Redes Wi-Fi, bem como o apoio ao ensino relacionado a este tema. O artigo também relata um experimento com Wireless Bridges feito para expandir um estudo anterior, que por sua vez visa ligar os campi da UPE em uma rede sem fio única. Adicionalmente, foi feito um esforço para obtenção do código fonte de um Access Point WRT54GL.

Abstract

This article describes a bibliographic research conducted with the objective of empowering the Wi-Fi Networks Laboratory located in Escola Politécnica de Pernambuco, through a project that aims at renewing it with the acquisition of new equipment and platforms for improving them. This development will allow, as a consequence, the conduction of experiments and research in the field of Wi-Fi Networks, and will also assist the teaching of matters related to this subject. This article also refers to a Wireless Bridges experiment conducted in order to expand a previous study, which was aimed at connecting UPE's campuses in a single wireless network. Furthermore, an effort was made towards the acquisition of the source code for a WRT54GL Access Point.

1 Introdução

Redes Wi-Fi (nome comercial de uma tecnologia WLAN do padrão IEEE 802.11) estão solidamente consolidadas no dia a dia das empresas e até em nas residências. O seu profundo conhecimento é obrigatório, em se tratando de Redes de Computadores.

A Escola Politécnica de Pernambuco (POLI) possui um laboratório de Redes Wi-Fi que, além de dois laptops, possui um par de *Access Points* do modelo DAP-1360, da D-Link. Para que sejam conduzidos diversos tipos de experimentos na área, se faz necessário o projeto de uma versão melhorada deste laboratório.

Antes deste estudo, no entanto, foi realizado um experimento com *Wireless Bridges*, como se segue.

2 Experimento com Bridge

Há um estudo prévio feito com o intuito de ligar os diversos campi da Universidade de Pernambuco (UPE) através da tecnologia WirelessMAN do padrão IEEE 802.16, comercialmente conhecida como WiMax [1]. Para integrar a POLI a esta rede, se faz necessária a ligação desta com a FCAP através de um *Wireless Bridge*.

Com os *Access Points* DAP-1360 disponíveis no laboratório, foi conduzido um experimento no qual estes foram ligados no modo *Bridge*. Eles foram configurados via *browser* através de sua interface nativa, e foram organizados de modo a ligar 2 computadores com sistema operacional Windows em uma rede sem fio. Em seguida, foram realizados com sucesso testes de transmissão de pacotes entre os 2 computadores, comprovando a possibilidade da ligação POLI-FCAP com equipamentos semelhantes.

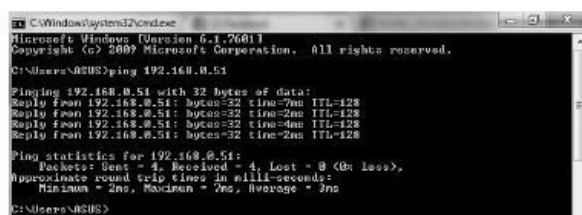


Fig 1. Pacotes transmitidos via *Bridge*

3 Preparação do Laboratório

Após a realização dos procedimentos acima descritos, o foco dos trabalhos tornou-se o projeto de um laboratório para o estudo da tecnologia Wi-Fi na Escola Politécnica de

Pernambuco. Foram pesquisadas, primeiramente, tecnologias que serviriam de plataforma para os estudos a serem realizados no mesmo.

3.1 Modificação de *Firmware*

Para a realização de alguns dos projetos visados no laboratório, se faz necessário o entendimento de processos para modificar o *firmware* de *Access Points*, com o intuito de implementar novas facilidades e funções. A primeira ferramenta considerada para tal fim foi o OpenWrt. Devido a algumas limitações do mesmo, o foco da pesquisa se voltou em seguida para o DD-WRT.

3.2 OpenWrt

O OpenWrt é uma distribuição Linux voltada para a instalação em sistemas embarcados. Ele permite que o sistema de arquivos seja facilmente gerenciado e o dispositivo, consequentemente, customizado, sem a necessidade de que seja construído todo um novo *firmware* para este fim[2]. Foram pesquisadas informações sobre o mesmo, até que foi encontrado um tutorial[3] que descreve como instalar a imagem do *firmware* OpenWrt em um modelo específico de *Access Point* (um D-Link DSL-2640B), inclusive detalhando alguns procedimentos que incorreram em erros.

Infelizmente, o *firmware* OpenWrt não dá suporte a uma gama muito vasta de dispositivos. Ele não é compatível com os *Access Points* DAP-1360 disponíveis no laboratório da POLI. Decidiu-se, diante da provável necessidade da aquisição de novos equipamentos, voltar o foco da pesquisa para o DD-WRT, dotado de uma maior lista de compatibilidade.

3.3 DD-WRT

O DD-WRT, em essência, segue o mesmo princípio do OpenWrt, sendo um *firmware* baseado em Linux voltado para sistemas embarcados. Foram encontrados diversos materiais relacionados ao uso do primeiro, destacando-se entre eles um texto que dá instruções detalhadas de como usar *scripts* para modificar o *firmware* DD-WRT de duas maneiras diferentes.[4]

A primeira, mais simples, consiste em: extrair a imagem do *firmware*; gerenciar seus arquivos; modificá-los e/ou instalar pacotes; recompilar e reinstalar o *firmware*. O segundo procedimento, mais complexo e propenso a erros, consiste em utilizar *scripts* para compilar o *firmware* DD-WRT direto do código fonte.

O DD-WRT se mostrou mais promissor que o OpenWrt, mas ainda assim não era compatível com os *Access*

Points DAP-1360. Diante de tais dificuldades técnicas para a realização dos experimentos projetados, se fez necessária, como havia sido previsto, a pesquisa de novos dispositivos a serem adquiridos para o laboratório.

4 Novos Equipamentos

Com o intuito de conseguir indicações de equipamentos, foram consultados, por e-mail, especialistas do LARC (Laboratório de Arquitetura e Redes de Computadores), da USP. Estes enviaram uma descrição detalhada do aparato utilizado em seu laboratório, que inclui 5 *Access Points* do modelo Linksys WRT54GL, com *firmware* DD-WRT. Este modelo de *Access Point* pareceu promissor, pois logo se mostrou bastante amigável à mudança de *firmware*.

Foram encontradas, em um livro voltado ao manuseio do *Access Point* WRT54GL[5](modelo da mesma família que o WRT54GL, mas dotado de menos recursos) instruções que poderiam ser utilizadas no WRT54GL, detalhando diversas maneiras de instalar novo *firmware* no *Access Point*, sendo estas: via interface web; via TFTP (*Trivial File Transfer Protocol*); via JTAG (um modo de “consertar um *Access Point* que, de outra maneira, estaria num estado irrecuperável [6]”). Devido às recomendações feitas pelo LARC e à facilidade da manipulação de seu *firmware*, ficou decidido que o WRT54GL seria o modelo utilizado nos experimentos futuros.

4.1 Projeto de Renovação do Laboratório

Com base no e-mail do LARC e do maquinário já à disposição da POLI, foi feito um projeto de renovação do laboratório, descrevendo os dispositivos a serem adquiridos e como estes poderiam ser integrados com os que já se possuía. Sugeriu-se a compra dos seguintes itens:

Tabela 1. Sugestões de Compras

Item	Quantidade
WRT54GL	2
Riverbed AirPcap	1
Alfa AWUS036EW	1

O Alfa AWUS036EW é um *dongle USB* cuja função é estabelecer redes *Ad Hoc* ou melhorar a qualidade do sinal de Wi-Fi recebido pelo computador ao qual ele está conectado.

O Riverbed AirPcap, por sua vez, é um dispositivo USB cuja função é capturar pacotes WLAN e permitir sua análise no ambiente Wireshark.

Também ficou sugerida, de forma opcional, a compra de dois novos computadores para o laboratório.

4.2 Código-Fonte do WRT54GL

Devido à alta probabilidade da espera de um longo prazo para a aquisição do WRT54GL, se mostrou interessante, para fins de estudo, uma análise do *firmware* nativo do mesmo. O *Access Point* ainda não foi adquirido, mas pesquisas na web levaram a um sistema de arquivos que contém o código fonte do *firmware* nativo deste.

5 Reuniões do GPPR

Ao longo do processo descrito anteriormente, ocorreram reuniões do GPPR (Grupo de Pesquisa em Protocolos de Redes de Computadores), um grupo de pesquisa da POLI. Nestas, foram estudados assuntos relacionados a Wi-Fi e redes de computadores como um todo. Também foram tomadas decisões acerca de como se proceder nos projetos de renovação do laboratório e de ligação dos campi da UPE em uma rede sem fio.

6 Resultados e Próximos Passos

Está pronto o projeto de um laboratório de Wi-Fi renovado, tanto em termos de maquinário quanto de ferramentas para serem utilizadas na realização de experimentos e pesquisas.

Também foi dado mais um passo no projeto de integração dos campi da UPE em rede sem fio. Já é possível ligar a Escola Politécnica de Pernambuco nesta rede, dependendo, no entanto, da aquisição de um par de transceptores na faixa de 5GHz, da tecnologia WiMax (padrão IEEE 802.16).

O próximo passo é, naturalmente, a aquisição dos novos dispositivos e sua integração aos que já estão na POLI. O orientador também planeja uma visita ao LARC para conhecer pessoalmente o trabalho lá realizado.

Referências

- [1] A. R. Wanderley, “Solução de Rede Wireless Interligando as Unidades Acadêmicas do Campus Recife da Universidade de Pernambuco”, Novembro/2010, pp. 62-67.
- [2] <https://openwrt.org>, visitado pela última vez em 30/08/2014.
- [3] <https://forum.openwrt.org/viewtopic.php?id=33146>, visitado pela

última vez em 30/08/2014.

- [4] <http://www.dd-rt.com/wiki/index.php/Development>, visitado pela última vez em 30/08/2014.
- [5] Asadoorian, P. e L. Pesce, *Linksys WRT54G Ultimate Hacking*, Syngress, 2007.
- [6] <http://www.dd-wrt.com/wiki/index.php/JTAG>, visitado pela última vez em 30/08/2014.

Visão Estereoscópica no Arduino

Alves Junior, R. P.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Rildojunior6@hotmail.com

Feitosa, M. A. F.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
marcilio@poli.br

Esteves, G. R. P.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
gustavorpe@gmail.com

Resumo

Este trabalho apresenta a tentativa de utilizar o Arduino, uma plataforma de prototipagem eletrônica, no processo de visão estereoscópica, com a função de comandar uma câmera que capture duas imagens distintas do mesmo objeto. Após, o Arduino irá processar essas imagens para encontrar um ponto em comum e calcular a distância do objeto para as câmeras. Serão apresentados testes com sensores de mouse óptico, e com um módulo de câmera serial, mostrando a possibilidade deles se comunicarem com o Arduino, mas ao mesmo tempo justificando a dificuldade de atuarem em visão estereoscópica. O Galileo é citado como o Arduino ideal para trabalhar com estereoscopia devido ao seu poder de processamento. Porém será explicado a não realização dos testes com o mesmo, que foram impossibilitados por problemas com sua IDE particular.

Abstract

This article presents the attempt of using the Arduino, an electronic prototyping platform, in the stereoscopic vision process, to control a camera that captures two distinct images of the same object. After, the Arduino will process these images to get a point in common and calculate the distance of the object to the camera. Tests with optic mouse sensors and with a serial camera module will be presented, showing the possibility of them to communicate with the Arduino, but will be explained at the same time the difficulty of these instruments to work in stereoscopic vision. Galileo is mentioned as the ideal Arduino to work with stereoscopy because of its processing power. However, will be explained that the tests didn't happened with it, because of the problems in its particular IDE.

1 Introdução

A estereoscopia visual é o processo pelo qual a partir de duas imagens distintas, mas que contemplem a mesma região, pode se ter uma noção da tridimensionalidade dessa região. Este processo pode ser empregado para solucionar diversos problemas como o mapeamento de ambientes, cálculos de distâncias e reconhecimentos de objetos tridimensionais [1].

As práticas mais comuns em visão estereoscópica utilizam um ambiente computacional para a implementação da visão, realizando os cálculos necessários. Tal ambiente permite um melhor desempenho no trabalho com imagem resultando em maior rapidez no processamento da mesma.

Com o advento e a disseminação que está acontecendo com o Arduino, tentou-se nesse projeto analisar a possibilidade de se trabalhar visão estereoscópica nessa plataforma.

2 Plataforma Arduino

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica criada com o objetivo de permitir o desenvolvimento de controle de sistemas interativos, de baixo custo e acessível a todos. Ele faz parte do conceito de hardware e software livre e está aberto para uso e contribuição de toda sociedade [2].

Um grande diferencial deste dispositivo é ser mantido por uma comunidade que trabalha na filosofia *open-source*, desenvolvendo e divulgando gratuitamente seus projetos. [3]

Existem vários modelos de Arduino [4] com características de processamento parecidas, dependendo do microcontrolador utilizado pela placa. Na tabela 1 temos, respectivamente, qual o tipo de microcontrolador, de microprocessador, de memória flash, SRAM, EEPROM e frequência de *clock*, de alguns modelos.

Tabela 1. Comparativo de placas Arduino.

Arduino UNO	Duemilanove	Galileo
ATmega328	ATmega168/328	-
-	-	Intel Quark
32kB	16kB/32kB	8MB
2kB	1kB/2kB	512KB
1kB	512bytes/1kB	11KB
16MHz	16MHz	400MHz

3 Sensor de Mouse Óptico

O mouse ótico foi projetado no final da década de 90. Atualmente pode ser construído com uma câmera que processa mais de 1500 imagens por segundo. Possui um processador que digitaliza essas imagens a partir da comparação com um determinado padrão e as imagens captadas pelo sensor são digitalizadas e processadas [5].

O sensor CMOS (*Complementary Metal-oxide-semiconductor*) usa uma tecnologia de navegação óptica, em que é possível medir a mudança de posição através da aquisição de uma sequência de imagens da superfície. A partir disso, é determinada matematicamente a direção e a amplitude do movimento [6].

Viu-se a possibilidade de usar o sensor de mouse óptico como uma câmera, comandada pelo Arduino, e dessa forma obter as posições x e y de uma imagem, mesmo de baixíssima qualidade e resolução. Mesmo se configurando uma forma bem simples de capturar imagem, foi realizada tal experiência com a intenção de trabalhar com esses pontos, e realizar o cálculo da distância do sensor para a imagem obtida.

Porém um fato preocupante é o alcance óptico do mouse, que não ultrapassa 1,25 mm [5].

4 Módulo de câmera serial TTL

Para utilizar uma câmera no processo estereoscópico com o Arduino, foram investigadas as que pudessem estabelecer uma comunicação com a placa, já que o Arduino não possui entrada USB, a típica interface das câmeras mais comuns, as *webcams*.

Tentou-se utilizar duas câmeras para o projeto, por isso a câmera VC0706 [7] foi escolhida. Em sua comunicação com o Arduino ela utiliza apenas quatro pinos dos seis que possui, e como o arduino mais comum, o uno, possui poucos pinos de entrada e saída, fica mais viável utilizar essa câmera.

A câmera possui como principais características: sensor CMOS 0.3M pixels; formato de saída da imagem em JPEG (*Joint Photographics Experts Group*); Velocidade de 30fps (frames per second); distância de monitoração máxima de 10 metros; resolução máxima de 640x480 pixels; taxa de transmissão padrão de 38400 b/s; tensão de operação +5V, e de comunicação 3.3V.

A VC0706 é mais indicada para monitoração remota, segurança e detecção de movimento, segundo o fabricante [7].

A comunicação com a câmera é feita por sua interface serial [7]. A mesma desempenha diversas funções, e cada função tem seu comando específico.

4.1 Cartão de memória

Para armazenamento das imagens capturadas pela câmera, é utilizado em um cartão de memória. Para isso utilizamos um módulo cartão SD que, junto com o micro-SD e o cartão de memória, se comunicam com o Arduino por seis pinos dos oito que o módulo possui: pino CS (*Chip select*); pino MOSI (*Master Out Slave In*); pino MISO (*Master In Slave Out*); pino SCK (*Serial Clock*); pino GND (*ground*) e pino +5V.

5 Teste com sensores de mouse óptico

Os testes foram baseados em dois exemplos [8], [9] diferentes, em que os sensores usados foram o PAN-3101DB e o ADNS-2051. Os testes foram realizados com sensores diferentes, os quais foram o ATC-7515DB e o BCE-11341. São sensores de formatos e pinagens diferentes, indicando a existência de vários tipos e a complexidade de funcionamento de cada mouse específico.

Não foi possível encontrar seus *datasheets*, então foram usadas como referência as folhas de dados dos sensores dos exemplos seguidos [10], cada um ao seu semelhante em número de pinos.

Comparando o sensor ATC-7515DB com o PAN-3101DB, além de possuírem o número de referência similares, eles corresponderam a todas as características físicas, propondo assim a nítida possibilidade dos pinos correspondentes terem a mesma função descrita na folha de dados do sensor exemplo.

Analisando também os sensores BCE-11341 com o ADNS-2051, a única semelhança física que possuem é o número de pinos. Dessa forma é provável que a pinagem deles, em termos de função, não correspondam.

5.1 Experiência com ATC 7515DB

Nessa experiência foram utilizados apenas quatro pinos: o pino 3 SDIO (*Serial data (input and output)*); pino 4 SCLK (*Serial port clock (input)*); pino 6 GND (*System ground*); pino 7 PWR (5V *power supply*).

O esquema foi montado da seguinte forma: pino 3 conectado ao pino digital 3 do Arduino; o pino 4 ao pino digital 2; o pino 6 ao GND do Arduino e o pino 7 ao pino 5V. A montagem é vista na figura 1.

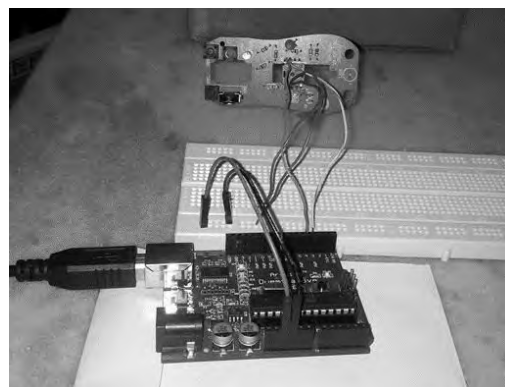


Fig. 1. Montagem do sensor ATC 7515DB.

Porém, ao tentar compilar o programa o mesmo apresentou erro e não foi possível solucionar tal problema. Erro mostrado na figura 2.



Fig. 2. Erro no programa do sensor ATC 7515DB.

5.2 Experiência com o BCE 11341

Com esse sensor utilizamos desta vez cinco pinos: o pino 1 SCLK; pino 12 GND; pino 13 PWR; pino 15 PD (*Power down pin*) e pino 16 SDIO.

Os pinos foram conectados da seguinte forma: pino 1 conectado ao pino digital 5; o pino 12 ao GND do Arduino; o pino 13 ao pino 5V; o pino 15 ao pino digital 7 e o pino 16 ao pino digital 6. A montagem é vista na figura 3.

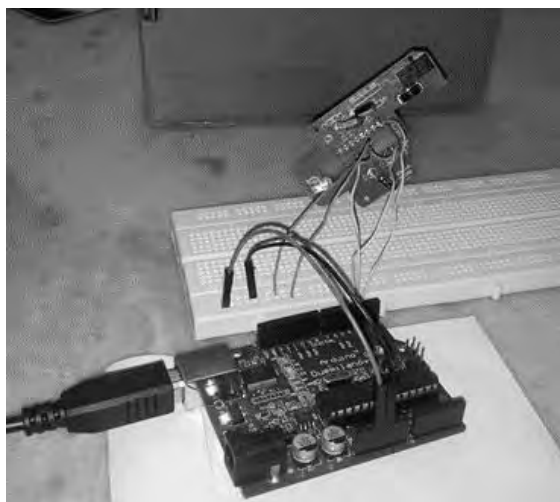


Fig. 3. Montagem do sensor BCE 11341.

O programa foi testado, compilou normalmente e depois foi carregado no Arduino duemilanove. Ao conferir a leitura do sensor pelo *serial monitor*, tela de monitoração da IDE do Arduino, os dados mostrados não corresponderam ao desejado. Provável que a pinagem do sensor utilizado no teste não confira com a do sensor do exemplo. A leitura é mostrada na figura 4.



Fig. 4. Leitura do sensor BCE 11341.

6 Teste de Funcionamento do módulo de câmera VC0706 com o Arduino duemilanove

Para o teste da câmera seguiu-se os exemplos demonstrados pelo fabricante, em que a câmera executa duas funções: a *snapshot*, onde a câmera captura uma imagem automaticamente, e a *detecting motion*, em que ela captura uma imagem logo após perceber um movimento.

Os quatro pinos utilizados nesses dois testes são: pino +5V; GND; pino RX (*Serial Data Input*); pino TX (*Serial*

Data Output). Esses pinos são conectados da seguinte maneira: pino +5V no pino 5V do Arduino; pino GND no pino GND; um resistor de 10K Ω é conectado no pino digital 3 e o outro, fazendo um divisor de tensão com o primeiro, vai pro GND, e o RX é conectado no ponto divisor de tensão; o pino TX fica no pino digital 2 do Arduino.

Os pinos do módulo micro-SD são conectados da seguinte forma: pino CS no pino digital 10 do Arduino; pino MOSI no pino digital 11; pino MISO no pino digital 12; pino SCK no pino digital 13; pino 5V nos 5V do Arduino e pino GND no GND do Arduino. A montagem é apresentada na figura 5.

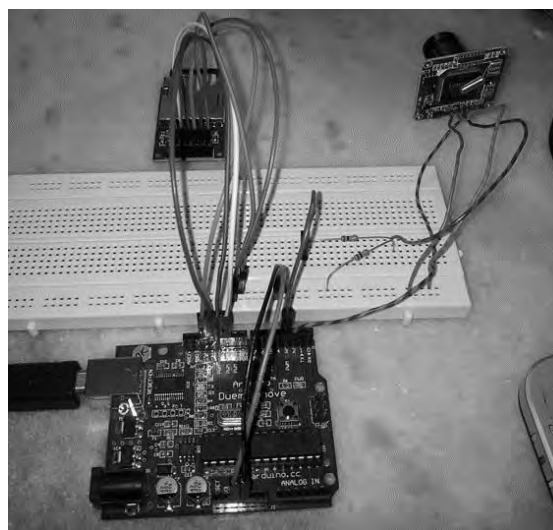


Fig. 5. Montagem da câmera VC0706.

6.1 Teste *snapshot* e teste *detecting motion*

Nesses testes o arduino reconhece a câmera e o adaptador; caso não sejam encontrados por algum motivo, é indicado o problema pelo *serial monitor* da IDE do arduino.

Na execução do teste de *snapshot* o programa nos informa a resolução da imagem, que é no máximo de 640x480 pixels, informa que a foto foi capturada, o tamanho da imagem e o tempo que levou para salvar a imagem. Isso pode ser visto na figura 6. E na figura 7 a imagem capturada na realização do teste.

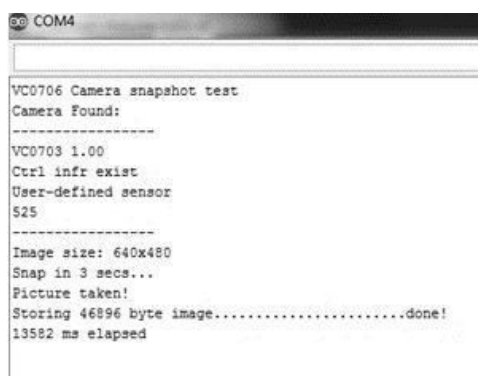


Fig. 6. Informações do teste *snapshot*.

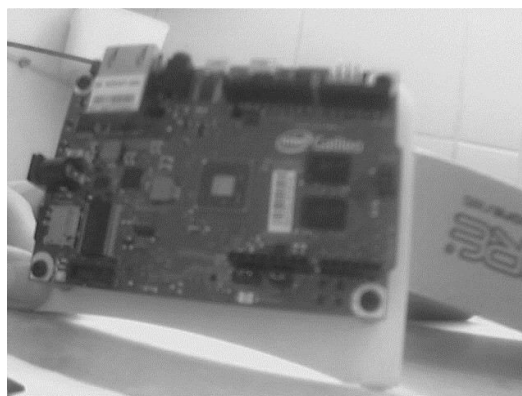


Fig. 9. Imagem capturada pela câmera.

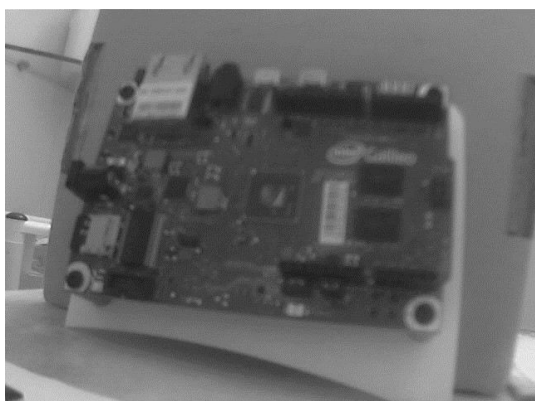


Fig. 7. Imagem capturada pela câmera.

No *detecting motion* o programa nos informa a resolução da imagem, informa que a função *motion detect* está habilitada, e quando a câmera percebe um movimento ela acusa e captura uma imagem. É informado tamanho da imagem e o tempo que levou para salvá-la no cartão de memória. Pode ser visto na figura 8 tais informações e na figura 9 a imagem capturada assim que a câmera detectou um movimento à sua frente.



Fig. 8. Informações do teste *detecting motion*.

7 Teste de funcionamento do módulo de câmera VC0706 com o Arduino galileo

O galileo foi incorporado ao trabalho por ser um arduino e devido ao seu alto poder de processamento em relação aos outros modelos; o que seria ideal já que processamento de imagem demanda memória e um bom processador.

Devido à possível comunicação do módulo de câmera com o Arduino duemilanove, tentou-se também com o galileo. Aplicando os mesmos testes de funcionamento da câmera realizados com o duemilanove, as conexões dos componentes foram realizadas da mesma forma já que o galileo possui a pingem igual às do uno e do duemilanove.

Após instalar a IDE do galileo, uma IDE própria, pois ele não usa a IDE comum do Arduino, a mesma não inicializa normalmente, devido a um problema em que a IDE só funciona se o idioma do formato da data e hora do computador for o inglês. A montagem pode ser vista na figura 10.



Fig. 10. Montagem da câmera com o galileo.

O programa não compilou apresentando erros diversos, apontando declarações não realizadas no programa. Chegou-se a conclusão de que a biblioteca da IDE do galileo não possuía a documentação necessária para que o programa compilasse. O que não aconteceu com a IDE comum do Arduino. Tais problemas de compilação já são de conhecimento dos desenvolvedores da Intel que estimam as correções para a próxima versão da IDE. O erro pode ser visto na figura 11.

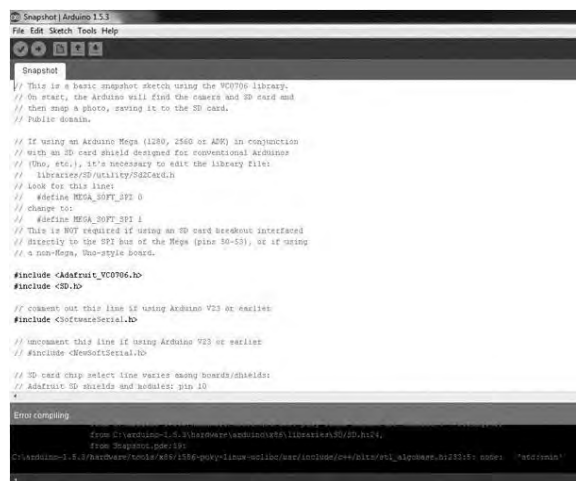


Fig. 11. Erro na IDE do galileo.

8 Conclusões

Este trabalho apresentou a tentativa de aplicar o Arduino em visão estereoscópica; tentativa sem sucesso devido à falta de referências de trabalhos sobre Arduino com estereoscopia e também ao limitado conhecimento na sua linguagem de programação, pois os programas referentes à comunicação da câmera com o Arduino são bem complexos.

Os testes com os sensores de mouse óptico, mesmo mostrando a possibilidade de sua comunicação com o Arduino, não corresponderam iguais aos exemplos de referência. De toda forma, se entende como inviável a utilização deles para processo estereoscópico, já que seus alcances ópticos são bem limitados.

A câmera VC0706 se apresentou como acessório ideal para trabalhar com o Arduino, visto que os testes de funcionamento foram bem sucedidos. Porém não foi possível verificar se eles têm condições de trabalharem com estereoscopia, pelos motivos citados anteriormente.

Acredita-se que com maior conhecimento na linguagem de programação, juntamente com o *datasheet* da câmera, seja possível implementar um programa em que o Arduino comande a câmera e processe as imagens capturadas, podendo calcular a distância do objeto para as câmeras.

Referências

- [1] J.G.R.P. Esteves, Estereoscopia no cálculo de distância e controle de plataforma robótica, UPE, Recife, 2011.
- [2] Santos, N.P., Arduino - Introdução e Recursos Avançados, Escola Naval, 2009.
- [3] Di Renna, R.B., Brasil, R.D.R., Cunha, T.E.B., Beppu, M.B., Fonseca, E.G.P., Introdução ao kit de desenvolvimento Arduino, UFF, Niterói - RJ, 2013.
- [4] Site da Internet: www.arduino.cc, visitado pela última vez em 12/09/2014.
- [5] Figueira, J.S., Einstein, Mouse Ótico e Maisena – Uma Análise do Movimento Browniano, UTFPR, Pato Branco – PR.
- [6] Borges, J.C.N., MouseCAM, Curitiba, 2008.
- [7] Site da internet: www.adafruit.com, visitado pela última vez em 12/09/2014.
- [8] Site da Internet: www.martijnthe.nl/2009/07/interfacing-an-optical-mouse-sensor-to-your-arduino/, visitado pela última vez em 11/09/2014.
- [9] Site da internet: www.frenki.net/2013/12/convert-optical-mouse-into-arduino-web-camera/, visitado pela última vez em 11/09/2014.
- [10] Site da internet: www.alldatasheet.com/, acessado pela última vez 22/06/2014.

Aplicação de Métodos de Identificação de BLACK-POSTS Usando SIG

Silva, T. A. N.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Thamyrisalves08@hotmail.com

Macedo, M. R. O. B. C. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
emilialsht@poli.br

Kohlman Rabbani, E. R.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
marcia.macedo@poli.br

Resumo

Objetiva-se nesse trabalho identificar os pontos negros em relação a ocorrência de acidentes rodoviários, a partir de uma área piloto da Região Metropolitana. Este trabalho se insere num projeto maior, o SIG@TRANS um sistema de informações geográfico que será desenvolvido para facilitar a visualização e diagnósticos dos pontos negros na RMR.

Usando um Sistema de Informação Geográfica (SIG), é possível coletar, mapear, consultar e analisar os pontos com os maiores índices de acidentes (pontos negros), facilitando a tomada de decisão e ação por parte dos órgãos competentes. Foi desenvolvida uma planilha computacional para o cálculo dos pontos negros utilizando-se três diferentes métodos: Frequência dos acidentes por quilômetro, a Taxa de Acidente e Taxa Crítica de Acidente conforme descritos no Manual de Segurança Viária desenvolvido pelo Comitê Técnico, PIARC. Estes métodos foram aplicados ao trecho da BR101 entre o a Cidade do Cabo de Santo Agostinho e Igarassu, analisando-se os acidentes ocorridos em 2013 para cada quilometro da via. Os resultados foram analisados e comparados a fim de serem incorporados ao sistema SIG@TRANS que irá mapeá-los a fim de seguir com o diagnóstico dos mesmos.

Abstract

Objective in this work is identifying black spots for the occurrence of road accidents, from a pilot area of the Metropolitan Region. This work is part of a larger project, the GIS @ TRANS geographic information system that will be developed to facilitate the visualization and diagnostics of black spots on RMR. Using a Geographic Information System (GIS), it is possible to collect, map, query and analyze the points with the highest accident rates (black dots), facilitating decision making and action by the competent bodies. Frequency of accidents per mile, the rate of Accident and Critical Accident Rate as described in a road safety manual developed by the Technical Committee, PIARC: a computer spreadsheet for the calculation of blackheads using three different methods was developed. These methods were applied to the part of the the BR101 between Cabo de Santo Agostinho and Igarassu City, analyzing the accidents occurred in 2013 for every mile of track. The results were analyzed and compared in order to be incorporated into the GIS system that will SIG@TRANS will them to follow with the same diagnosis.

1 Introdução

Os acidentes de trânsito no Brasil destacam-se em termos de magnitude, tanto em número de mortes e feridos quanto por suas consequências monetárias para os usuários e para a sociedade. Em função do crescimento dos acidentes de trânsito os setores responsáveis estão sendo cada vez mais exigidos no que se refere à qualidade e segurança das vias.

A malha viária de uma área urbana precisa satisfazer as necessidades de mobilidade enquanto satisfaz os requisitos estabelecidos pela coletividade: minimizar os riscos de acidentes e impactos ambientais, respeitar as restrições orçamentárias, estimular o desenvolvimento econômico, entre outros. Um contínuo monitoramento da malha viária do ponto de vista da segurança faz-se necessário a fim de garantir que as demandas da sociedade estão sendo atendidas. Apesar de haverem uma variedade de métodos disponível para detectar os problemas de segurança viária, a análise detalhada dos acidentes ocorridos nas vias continua sendo um dos principais indicadores das deficiências da rede.

O novo Código de Trânsito Brasileiro – CTB, privilegia as questões de segurança e de preservação da vida. Uma de suas características é o expressivo conjunto de medidas de prevenção que contém, não sendo, por conseguinte, um instrumento apenas punitivo. A sua implantação objetivava ser, assim, o mecanismo legal e eficaz para a diminuição dos principais fatores de risco, envolvendo condutor, pedestre, veículos e via pública. [2]

A implantação efetiva do CTB requer a superação do atraso tecnológico nas questões do trânsito brasileiro, como a baixa confiabilidade das estatísticas referentes à frota das pessoas habilitadas, bem como em relação às vítimas e às ocorrências de acidentes de trânsito; o precário controle de tráfego, inspeção e segurança veicular; a desagregação de normas e procedimentos relativos à engenharia de trânsito; a fiscalização inadequada; e o treinamento ultrapassado para a habilitação de novos condutores, além da capacitação técnica de recursos humanos.

Segundo um estudo realizado em janeiro de 2011 pela Universidade de Michigan nos EUA, que visava analisar a gestão da segurança viária nos países em desenvolvimento, conhecidos como BRIC, avaliando tópicos como estatísticas de acidentes, programas de segurança no trânsito, obstáculos no seu desenvolvimento, existência de institutos de pesquisa desse tema, agência governamentais responsáveis pela segurança viária, entre outros, verificou que o Brasil não apresenta um plano de segurança viária, havendo a necessidade de aprimorar os estudos desse tema e ação planejada e sistemática neste sentido [6].

À medida que houve um crescimento socioeconômico do país nas últimas décadas, ocorreu um aumento também no número de veículos motorizados e consequentemente, no número de acidentes de trânsito. De acordo com o Sistema de Informação de Mortalidade – SIM, só no ano de 2010 morreram em decorrência de acidente de trânsito 40.610 pessoas, e em Pernambuco foram 1.920 pessoas.

Com a chegada da Refinaria da Petrobrás, Estaleiro Atlântico-Sul e diversas empresas satélites ao Porto de Suape, o número de veículos e seu fluxo tem aumentado sensivelmente, e que vem sendo percebido pelo aumento do congestionamento na região. A necessidade de adequar a mobilidade da região fica ainda mais evidente com a aproximação da Copa do Mundo no Brasil, havendo a necessidade de garantir um planejamento mais eficaz no que tange a mobilidade segura e sustentável.

O planejamento de intervenções públicas e privadas no setor de transportes insere-se na consecução de metas socioeconômicas e ecológicas, rumo ao desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, as decisões sobre o tema devem ser embasadas em análises abrangentes, que avaliem pontos críticos na rede viária e possibilitem a proposição de alternativas viáveis que possam diminuir as condições de risco de acidentes existentes.

A expansão das redes de transportes, principalmente dentro das áreas urbanas, precisa acompanhar o crescimento populacional e garantir um nível de operação do sistema em longo prazo (mobilidade segura e sustentável), como também um crescimento programado e organizado que garantam a segurança dos diversos usuários das vias. Além dos critérios técnicos para a expansão da rede, outras informações relacionadas aos acidentes de trânsito devem ser consideradas, tais como: tipo de veículos envolvidos, as características geométricas das vias, fluxo de veículos, características ambientais entre outros que possibilitam a identificação na malha viária dos pontos negros (*blackspots*) em relação aos acidentes, ajudando na priorização de medidas de controle a serem tomadas.

Os tipos de acidentes e seções da rede que necessitam de ações remediais imediatas precisam ser determinados e isto pode ser feito com o monitoramento sistemático dos acidentes nas vias e análise da formação de *blackspots* a fim de que futuros problemas possam ser antecipados [7]. Dessa forma, as decisões sobre o tema devem ser embasadas em análises abrangentes, que avaliem alternativas por meio de múltiplas interações. A complexidade e o volume de informações necessárias ao suporte de modelos de análise adequados, que permitam a constante reavaliação de metas e objetivos, exigem que essas atividades estejam apoiadas num sistema de informações ágil e robusto, que integre os dados originados das várias entidades relaciona-

das com o planejamento de transportes. Os Sistemas de Informação Geográfica - SIG tornam possível uma melhor compreensão das relações espaciais existentes entre os elementos analisados, facilitando a avaliação de diversas alternativas e permitindo a visualização de situações complexas, cuja representação só seria possível através de um grande volume de mapas e documentos [3].

Espera-se neste trabalho contribuir com o desenvolvimento de banco de dados (de preferência que relacione os dados especialmente, como o SIG) como ferramenta para armazenar as informações relativas aos acidentes de trânsito em áreas críticas do RMR, permitindo um acesso fácil, análise rápida e visualização das informações relevantes para identificação dos pontos negros em relação segurança nas vias.

2 Objetivos da Pesquisa

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e aplicar uma metodologia para diagnóstico de pontos negros (*Blackspots*) em relação à risco de acidentes de trânsito em um trecho da BR 101, a fim de ser implementada em um sistema de informações geográficas, contribuindo com a estruturação de um sistema georreferenciado de gestão de segurança nas vias urbanas.

2.2 Objetivos Específicos

Segue uma lista dos principais objetivos específicos necessários para atingir o objetivo geral estabelecido:

- Estabelecer critérios prioritários para identificação de áreas críticas em relação à segurança viária em áreas urbanas.
- Coletar dados relacionados aos acidentes de trânsito e características geométricas das vias nas áreas consideradas críticas do ponto de vista de risco de acidentes viários de um trecho da BR 101.
- Desenvolver planilha de cálculo utilizando metodologia para identificação de pontos negros do PIARC.
- Identificar os principais pontos negros quanto à segurança viária, tendo como base as causas e gravidades dos acidentes de trânsito conforme modelos internacionais de segurança nas vias.
- Contribuir com a elaboração de uma base cartográfica, obedecendo os critérios de topologia de redes, seguindo os padrões recomendados pelo OGC – Open Gis Consortium.

3 Metodologia

3.1 Metodologia para escolha do local

Foi escolhida para ser analisada neste trabalho um trecho da BR 101, por tratar-se de uma via com um grande fluxo de veículos (ver na Figura 1 o trecho estudado neste trabalho). Foi obtido o acesso ao banco de dados através da Polícia Rodoviária Estadual e Federal esses dados são referentes ao ano de 2013 Para identificar os principais pontos de acidentes foi utilizado o critério de quantidade de acidentes por quilômetro e a quantidade de acidentes por quilômetro com base no fluxo de veículos.

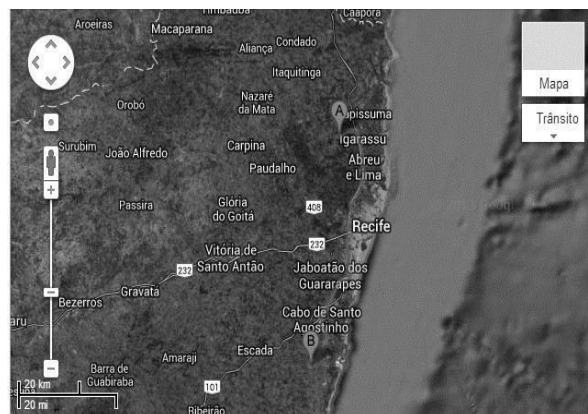


Figura (1): Delimitação da área em estudo **Fonte:** Googlemaps (2014)

3.2 Metodologia para diagnósticos de acidentes

Os três métodos escolhidos e utilizados para identificação de acidentes terão como base a proposta apresentada pelo “Manual de Segurança Rodoviária” (Road Safety Manual) elaborado pelo *World Road Association's Road Safety Committee* denominado doravante de PIARC (2003) e seguirá as seguintes etapas:

1) Frequência dos Acidentes

A frequência dos acidentes será calculada através da análise dos dados que foram obtidos pelos órgãos públicos responsáveis Polícia Rodoviária Federal – PRF. Serão considerados os dados de acidentes e suas respectivas localizações no ano de 2013, sendo somados todos os acidentes por quilômetro de via analisado.

2) Taxa de Acidentes

O cálculo da taxa de acidentes registrados para cada trecho durante o período de análise seguirá fórmula apresentada na Equação 1:

$$R_j = \frac{f_j \times 10^6}{365,25 \times PL_j Q}$$

Erro! Fonte de referência não encontrada.)

Onde:

f_j = taxa de acidente no local (acidentes/km)

P = Período de análise (ano)

L_j = comprimento da seção do local (km)

Q = tráfego diário médio anual de local (conhecido em inglês por AADT – Average Annual Daily Traffic)

3) Taxa Crítica de Acidente

Para o cálculo da taxa crítica de acidentes foi utilizada a equação 2 apresenta abaixo:

$$R_{cj} = R_{rp} + K \sqrt{\frac{R_{rp} \times 10^6}{365,25 \times PL_j Q_j}} + \frac{1 \times 10^6}{730,5 \times PL_j Q_j}$$

Equação (2)

Onde:

R_{cj} - Taxa Crítica de Acidente

R_{rp} - Taxa média de acidente em local semelhante (acidentes/Km)

K - Coeficiente estatístico - 1,036 para um nível de confiança de 85%

P - Período de análise (ano)

Os três métodos estudados são de certa forma complementares sendo a taxa crítica a que dará resultados mais refinados quanto a identificação dos pontos negros. O apêndice A apresenta os cálculos para cada um dos métodos para o quilômetro 54 ao 103 da BR 101 analisados.

3.3 Metodologia para o uso do SIG

No princípio foi proposta a coleta e armazenagem de dados para que fosse possível mapear os blackspots com mecanismos que combinam diversas informações através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo no sistema georreferenciado. Nessa primeira etapa não foi possível o mapeamento dos pontos, mas foi desenvolvida a planilha computacional para o cálculo dos pontos negros a

partir de três métodos complementares. A tabela apresentada no Apêndice A apresenta o detalhamento dos dados coletados e calculados para determinação dos pontos críticos

4 Análise e Resultados

Foram realizadas análises primárias dos blackspots em relação à frequência, taxa de acidentes e a taxa crítica d

acidentes, como mostram os gráficos 1, 2 e 3, respectivamente.

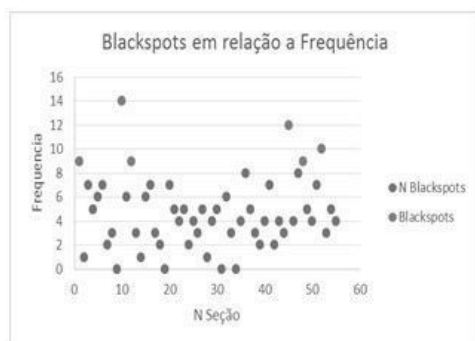


Gráfico 1: Número de Blackspots em relação à frequência de acidentes

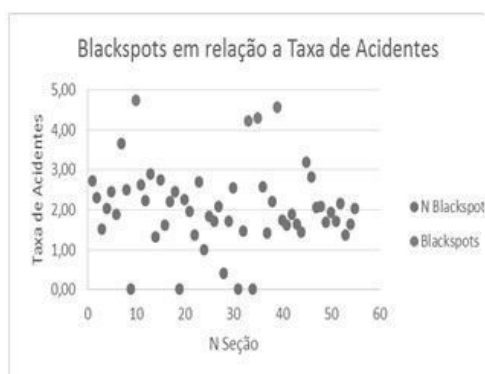


Gráfico 2: Número de Blackspots em relação à Taxa de acidentes



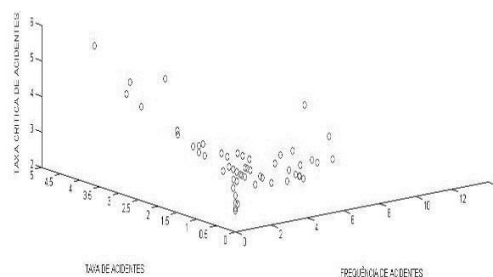
Gráfico 3: Número de Blackspots em relação à

Taxa crítica de acidentes

Quando realiza-se uma análise dos gráficos, percebe-se claramente que, em relação à frequência e a taxa de acidentes, os dados são linearmente separáveis, tornando possível uma prospecção desses dados utilizando uma árvore de decisão. Em relação à taxa crítica de acidentes, esses

dados não são linearmente separáveis e sua prospecção só será realizada a partir de redes neurais. Os pontos negros de acordo com a taxa crítica de acidentes são os quilômetros 1,10,12,45,48,52. Estudos mais aprofundados devem ser feitos nestes quilômetros a fim de diagnosticar as causas dos acidentes poder propor ações de melhoria para diminuir a incidência e gravidade dos acidentes

Foi então construindo um gráfico 3D (Figura 2) relacionando os blackspots à frequência, taxa de acidentes e taxa crítica de acidentes, a fim de analisar sua correlação. Conforme ilustrado na Figura 2 é possível perceber que esses dados estão fortemente influenciados pela frequência de acidentes, o que sugere a adoção de um outro método para analisar mais profundamente, ou ainda a adoção de uma média ponderada para valorar os métodos.



5 Considerações Finais

Os dados coletados e analisados mostram como o número de acidentes na RMR é grande e que há métodos simples que podem ser utilizados para identificar os pontos que devem receber atenção imediata dos órgãos públicos a fim de reduzir os riscos de acidentes. O próximo estágio do estudo terá como foco a análise dos demais métodos existentes e escolha do que melhor se adequa a realidade local para que possa se continuar com o diagnóstico e mapeamento dos pontos negros a fim de contribuir com um instrumento que possa colaborar com a melhoria do planejamento urbano da segurança viária da região. Acredita-se que o desenvolvimento do SIG necessitará do apoio técnico de um especialista a fim implementar a metodologia proposta de forma eficiente e prática.

Referências

- [1] AASHTO - American Association of State Highway Transportation Officials. **Highway Safety Manual (HSM)**. Washington-DC: Federal Highway Administration. 2010.

- [2] BRASIL. Ministério das Cidades. **Código de Trânsito Brasileiro**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/ctb.pdf>>. Acesso em: 07 dez. 2013.
- [3] CÂMARA, Gilberto; DAVIS JR., Clodoveu Augusto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (ed). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Livro on-line. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>>. Atualizado em 04/06/2001.
- [4] HARWOOD, DW; KOHLMAN RABBANI, ER; RICHARD, KR. Systemwide optimization of safety improvements for resurfacing, restoration or rehabilitation projects. **Transportation Research Record**. Washington: TRB, 2003.
- [5] KOHLMAN RABBANI, ER; BULLEN, G. Marginal Delay: New measure for quality of service at signalized intersections. **Transportation Research Record**. Washington: TRB, 2003.
- [6] LUOMA, J.; SIVAK, M. **Road-Safety Management in Brazil, Russia, India and China**. Disponível em: <<http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/89427/102786.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2013
- [7] PIARC - TECHNICAL COMMITTEE ON ROAD SAFETY. **Road Safety Manual: Recommendations from the World Road Association**. Paris: Route Market. 2003

7. APÊNDICE A - Tabela com os dados coletados e calculados dos blackspots de acordo com os métodos de frequência de acidentes, taxa de acidentes e taxa crítica de acidentes

Km Acidente	Frequência de acidentes	Gravemente feridos	Levemente feridos	Mortos	Acidentes s/ feridos
54	26	1	14	0	11
55	15	4	4	0	7
56	13	0	2	1	10
57	45	7	13	0	25
58	46	7	17	2	20
59	32	2	14	2	14
60	43	1	10	2	30
61	32	2	8	1	21
62	22	2	1	0	19
63	49	3	13	0	33
64	60	2	13	3	42
65	73	1	21	1	50
66	60	3	19	1	37
67	103	10	38	2	53
68	147	5	32	1	109
69	122	7	31	0	84
70	107	9	30	0	68
71	75	6	14	1	54
72	56	3	9	1	43
73	73	2	22	1	48
74	41	6	16	2	17
75	29	2	4	0	23
76	27	5	5	0	17
77	49	6	15	1	27
78	73	6	12	0	55
79	32	7	7	1	17
80	134	10	12	1	111
81	22	6	3	1	12
82	76	8	7	1	60

83	90	6	15	2	67
84	31	4	16	1	10
85	17	3	5	1	8
86	31	15	9	4	3
87	18	9	3	0	6
88	11	1	7	1	2
89	17	3	9	1	4
90	27	5	11	0	11
91	20	3	9	0	8
92	25	2	16	0	7
93	18	1	2	1	14
94	30	7	10	0	13
95	11	0	1	1	9
96	21	3	8	1	9
97	28	8	14	1	5
98	23	3	2	4	14
99	21	1	7	0	13
100	15	3	2	0	10
101	11	3	1	1	6
102	14	4	10	2	0
103	13	4	1	0	8

Nº SEÇÃO	FREQUÊNCIA DE ACIDENTE	BLACKSPOTS FREQUÊNCIA DE ACIDENTES	Nº SEÇÃO	TAXA DE ACIDENTE	BLACKSPOTS TAXA DE ACIDENTES	Nº SEÇÃO	TAXA CRÍTICA DE ACIDENTES	BLACKSPOTS TAXA CRÍTICA DE ACIDENTES
30	5	N	28	0,41	N	28	2,55	N
31	0	N	29	1,70	N	29	2,58	N
32	6	N	30	2,54	N	30	2,71	N
33	3	N	31	0,00	N	31	2,69	N
34	0	N	32	1,46	N	32	2,31	N
35	4	N	34	0,00	N	33	4,06	N
36	8	N	36	2,56	N	34	2,82	N
37	5	N	37	1,40	N	36	2,43	N
38	3	N	38	2,19	N	37	2,37	N
39	2	N	40	1,74	N	38	3,04	N
40	4	N	41	1,61	N	39	5,38	N
41	7	N	42	1,87	N	40	2,60	N
42	2	N	43	1,62	N	41	2,29	N
43	4	N	44	1,44	N	42	3,35	N
44	3	N	45	3,17	N	43	2,55	N
46	4	N	46	2,81	N	44	2,67	N
47	8	N	47	2,06	N	46	3,00	N
49	5	N	48	2,08	N	47	2,33	N
50	4	N	49	1,69	N	48	2,29	N
51	7	N	50	1,92	N	49	2,45	N
53	3	N	51	1,70	N	50	2,67	N
54	5	N	52	2,15	N	51	2,31	N
55	4	N	53	1,37	N	52	2,27	N
1	9	S	54	1,63	N	53	2,63	N
10	14	S	55	2,03	N	54	2,43	N
12	9	S	10	4,73	S	55	2,71	N
45	12	S	33	4,21	S	10	2,45	S
48	9	S	35	4,29	S	35	3,56	S
52	10	S	39	4,56	S	45	2,34	S

Nº SEÇÃO	FREQUÊNCIA D ACIDENTE	BLACKSPOTS FREQUÊNCIA DE ACIDENTES	Nº SEÇÃO	TAXA DE ACIDENTE	BLACKSPOTS TAXA DE ACI- DENTES	Nº SEÇÃO	TAXA CRITICA DE ACIDENTES	BLACKSPOTS TAXA CRI- TICA DE ACIDENTES
2	1	N	1	2,72	N	1	2,40	N
3	7	N	2	2,28	N	2	5,38	N
4	5	N	3	1,50	N	3	2,27	N
5	6	N	4	2,03	N	4	2,55	N
6	7	N	5	2,43	N	5	2,55	N
7	2	N	6	1,88	N	6	2,35	N
8	3	N	7	3,65	N	7	4,69	N
9	0	N	8	2,49	N	8	3,19	N
11	6	N	9	0,00	N	9	3,04	N
13	3	N	11	2,61	N	11	2,60	N
14	1	N	12	2,22	N	12	2,31	N
15	6	N	13	2,88	N	13	3,39	N
16	7	N	14	1,30	N	14	3,91	N
17	3	N	15	2,74	N	15	2,63	N
18	2	N	16	1,60	N	16	2,29	N
19	0	N	17	2,19	N	17	3,04	N
20	7	N	18	2,43	N	18	3,78	N
21	5	N	19	0,00	N	19	2,61	N
22	4	N	20	2,24	N	20	2,43	N
23	5	N	21	1,94	N	21	2,53	N
24	2	N	22	1,35	N	22	2,45	N
25	4	N	23	2,68	N	23	2,75	N
26	3	N	24	0,99	N	24	2,69	N
27	5	N	25	1,83	N	25	2,63	N
28	1	N	26	1,71	N	26	2,80	N
29	4	N	27	2,07	N	27	2,57	N
30	5	N	28	0,41	N	28	2,55	N
31	0	N	29	1,70	N	29	2,58	N
32	6	N	30	2,54	N	30	2,71	N
33	3	N	31	0,00	N	31	2,69	N
35	4	N	34	0,00	N	33	4,06	N
36	8	N	36	2,56	N	34	2,82	N
37	5	N	37	1,40	N	36	2,43	N
38	3	N	38	2,19	N	37	2,37	N
39	2	N	40	1,74	N	38	3,04	N
40	4	N	41	1,61	N	39	5,38	N
41	7	N	42	1,87	N	40	2,60	N

Construção de um Rastreador Solar de dois

Guimarães, L. B.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
lorena_bguimaraes@yahoo.com.br

Malagón, L. A. G.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
lagomezma@poli.br

Resumo *Em decorrência dos impactos ambientais provenientes do crescimento vertiginoso da emissão de gases e partículas poluentes, a busca por novas formas de captação de energia tem-se intensificado. Dentre essas fontes de energia a que ganha maior destaque é a solar, por ser uma fonte limpa e inesgotável. Há duas maneiras de se obter a energia solar: a térmica ou a fotovoltaica. A obtenção da fotovoltaica é feita com o uso de painéis solares, ou seja, por meio de superfícies de captação. Essas superfícies podem ser fixas, de um ou dois eixos. Algumas pesquisas realizadas nessa área demonstram que o rastreador solar de dois eixos melhora quantitativamente e qualitativamente o aproveitamento do potencial energético oferecido pelo sol. Sendo assim, esse projeto de pesquisa visa à confecção de um seguidor solar de dois eixos a fim de possibilitar a obtenção de maiores conhecimentos a cerca desse campo de atuação.*

Abstract *As a result of environmental impacts arising from the rapid growth of the emission of gaseous and particulate pollutants, the search for new forms of energy harvesting has intensified. Among these sources of energy that the spotlight is solar, as a clean and inexhaustible source. There are two ways to get solar energy: thermal or photovoltaic. Obtaining the photovoltaic is made with the use of solar panels, or by means of catchment surfaces. These surfaces can be fixed in one or two axes. Some research conducted in this area show that the two-axis solar tracker improves quantitatively and qualitatively, the use of the potential offered by the sun. Thus, this research project aims at making a two-axis solar tracker to allow obtaining more knowledge about this field.*

1 Introdução

Desde quando o Homem percebeu o movimento aparente do sol e desenvolveu os primeiros relógios solares ainda na era pré-histórica, ficou cada vez mais clara a influência do sol no seu cotidiano. Com o passar dos anos, o advento da ciência nessa área proporcionou em 1839 a observação, pela primeira vez, do efeito fotoelétrico pelo físico francês Alexandre Becquerel, e logo após essa descoberta, em 1883, Charles Fritts, conseguiu construir a primeira célula solar [1]. Assim sendo, a energia solar começou a ser explorada com mais intensidade e várias linhas de pesquisa foram criadas e baseadas na melhor maneira de se obter uma eficiência no seu potencial energético.

A energia solar é definida como a energia proveniente do sol, que pode ser tanto térmica como luminosa. Vários processos de captação foram criados desde o mais simples, como a utilização de garrafas PET para o aquecimento de água em caixas de água, até o mais complexo, como a utilização de seguidores solares de dois eixos, que possibilitam a obtenção de radiação solar de forma que os raios incidem sempre em sua superfície de forma ortogonal, assim, aproveitando a máxima potência oferecida pelo sol em certas superfícies.

Os seguidores solares são dispositivos de rastreios que dependem quase que exclusivamente da incidência dos raios solares, contudo fatores externos como condições climáticas, latitude do local de instalação, poeira, estações do ano, entre outros, podem influenciar significativamente na exploração em larga escala deste recurso. Então, várias práticas são elaboradas a fim de minimizar os efeitos desses fatores sobre o sistema de captação.

Basicamente existem dois tipos de rastreadores solares, o de um eixo e o de dois eixos. Estimasse que esses seguidores possam aumentar em cerca de 20% e 35% respectivamente, a maximização da prospecção da radiação solar incidente [2]. Logo, esse projeto almeja esclarecer, através de algumas simulações, algoritmos de segmento, entre outras técnicas, determinar de forma efetiva o modelamento mais próximo do real possível, levando em conta todas as particularidades oferecidas pelo meio ao qual o sistema será exposto, a fim de proporcionar as melhores condições para que haja um avanço quanto ao empreendimento comercial energético desse sistema.

2 Objetivos

Basicamente existem dois tipos de rastreadores solares, o de um eixo e o de dois eixos. Estimasse que esses seguidores possam aumentar em cerca de 20% e 35% respectivamente, a maximização da prospecção da radiação solar incidente [2]. Logo, esse projeto almeja esclarecer, através de algumas simulações, algoritmos de segmento, entre outras técnicas, determinar de forma efetiva o modelamento mais próximo do real possível, levando em conta todas as particularidades oferecidas pelo meio ao qual o sistema será exposto, a fim de proporcionar as melhores condições para que haja um avanço quanto ao empreendimento comercial energético desse sistema.

2.1 Objetivos Gerais

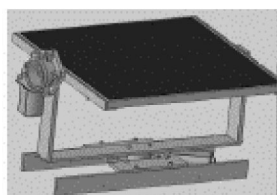
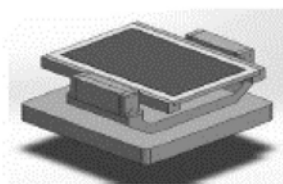
1. Construir um seguidor solar de dois eixos.

2.2 Objetivos Específicos

1. Realizar o projeto mecânico de um seguidor solar de dois eixos.
2. Realizar o projeto eletrônico do controle dos motores do seguidor solar.
3. Implementar o sistema de controle do seguidor solar.

3 Materiais e Métodos

Inicialmente, fizemos alguns esboços a fim de obter uma ideia preliminar de como seria a estrutura, levando em conta características como: praticidade na confecção, no deslocamento da estrutura, na economia de energia durante o seu funcionamento e no orçamento para a sua confecção. Partimos, então, para análise do material que deveria ser utilizado para a sua confecção, considerando sua devida exposição a chuvas e outros intempéries, a quantidade de energia oferecida pela bateria para alimentar o sistema, os motores e outros componentes eletrônicos. Quando atingimos um consenso sobre como seria mais ou menos a estrutura, partimos para a fase do modelamento no software SOLIDWORKS.



Chegamos então, a conclusão de que usaríamos barras e chapas de alumínio para garantir a resistência do sistema as condições climáticas a que estaria sujeito, já que o alumínio é um metal que possui alta resistência à corrosão, pois tem uma fina camada de óxido em sua superfície que o protege de oxidações, e grande leveza, por conta do seu baixo peso específico[3].

Propriedades físicas típicas	Alumínio	Aço	Cobre
Densidade (g/cm ³)	2,70	7,86	8,96
Temperatura de fusão (°C)	660	1500	1083
Módulo de elasticidade (MPa)	70000	205000	110000
Coefficiente de dilatação térmica (1/°C)	23.10 ⁻⁶	11,7.10 ⁻⁶	16,5.10 ⁻⁶
Condutividade térmica a 25°C (Cal/cm ² °C)	8,53	0,12	0,04
Condutividade elétrica (%IACS)	61	14,5	100

Visando uma maior economia de energia dada pela bateria de 12 v que será acoplada para garantir o funcionamento do sistema, o motor utilizado no projeto foi um motor de vidro elétrico de carro, por se tratar de um sistema auto travante, ou seja, não há necessidade de manter a alimentação do motor para que ele permaneça em uma dada posição desejada. Em comparação com o motor de passo, motor comumente utilizado em alguns projetos de rastreadores, o motor de vidro elétrico de carro se torna mais eficaz [4]. Portanto, dois motores de vidro elétrico do tipo DSW – 3301 foram utilizados.

As características do painel selecionado no projeto seguem abaixo:

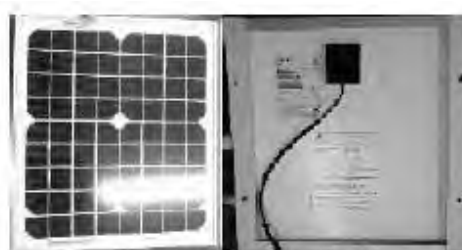


Fig 5. Características do painel solar utilizado.

O Sistema de controle seria realizado com base nas equações da terra [5], visando o ângulo de inclinação do painel e o ângulo azimutal da superfície. O controle dos motores DC ficariam vinculados à utilização da placa de aquisição de dados ARDUINO. Dessa forma, foram compradas duas Shields IMS - 1, de modo a garantir a execução desse controle.

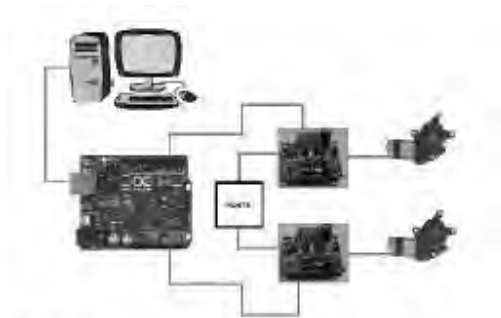
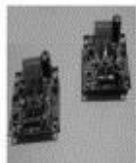


Fig 6. Detalhamento da estrutura de controle utilizada.



Performance parameters:
 - Rated voltage: 1.8-25 V;
 - R1 short circuit, VCC and GND short circuit, VCC output voltage and drive the input voltage;
 - R1 open circuit, VCC and GND disconnect, VCC input voltage 3-12 V;
 - Rated current: 20 A;
 - Current peak: 70 A;
 - Switching frequency: 1 K to 200 kHz;
 - Dimensions: 5.0 cm (length) * 5.8 cm (width) * 1.5 cm (height).

Fig 7. Detalhamento das SHIELDS IMS -1 utilizadas.

No programa de controle, as equações da terra seriam descritas, conforme foi dito anteriormente, de modo que duas variáveis seriam de maior importância, o ângulo de inclinação do painel (β), responsável, basicamente, pela captação de radiação solar ao longo do dia, e o ângulo azimutal da superfície (γ), responsável pela captação solar de acordo com o dia do ano, levando em conta a taxa de incidência de radiação no local aonde virá a ser instalado o seguidor de acordo com as estações do ano.

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega$$

Em que,

θ Ângulo de incidência de radiação solar.

δ Ângulo de declividade solar.

ϕ Latitude do local de instalação do seguidor solar.

B Ângulo de inclinação do painel solar.

γ Ângulo azimutal da superfície.

ω Ângulo horário.

Essa equação é descrita com base nos critérios listados abaixo:

$$\cos \theta = 1$$

$$\gamma = \gamma_s$$

$$\beta = \theta_z$$

onde, γ_s é dada por:

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_z \sin \phi - \sin \delta}{\sin \theta_z \cos \phi} \right) \right|$$

Assim, sabendo a latitude do local de instalação (ϕ), que trata-se de uma variável constante, que no caso da cidade do Recife seria 08°03'14" S, e lembrando que a declividade solar e o ângulo horário serão descritos pelas equações abaixo, respectivamente:

$$\delta = 0.006918 - 0.399912 \cos B + 0.070257 \sin B - 0.006758 \cos 2B + 0.000907 \sin 2B - 0.002679 \cos 3B + 0.00148 \sin 3B$$

$$\omega = 15 (h_s - 12)$$

Pode-se, então, determinar o ângulo de inclinação do painel solar (θ_z).

De posse desses materiais e do sistema de controle desejado, o seguidor solar pode ser construído com o auxílio da Equipe Corisco Baja e de alguns professores da Escola Politécnica de Pernambuco que forneceram embasamento teórico e prático durante o processo de confecção. O modelo foi construído no NEAR (Núcleo de Engenharia em Automação e Robótica), onde foi disponibilizada a utilização de uma fresa, de um torno e de uma furadeira, assim, as peças puderam ser usinadas, já que algumas foram torneadas e fresadas, e também puderam sofrer processos de corte.



Fig 8. Representação da fresa, torno e furadeira respectivamente.

4 Discussão e Resultados

1. Construção do rastreador solar de dois eixos

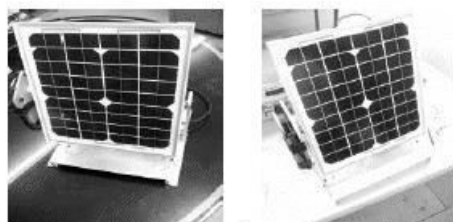


Fig 9. Vistas Projeto Finalizado.

Durante o processo construtivo do rastreador solar de dois eixos foi-se observado a complexidade exigida pelo projeto em termos econômicos, mecânicos e eletrônicos. Apesar da última fase de análise, que se tratava do controle do seguidor, ter sido impossibilitada de ser executada, por conta do longo período de tempo que levou para a chegada dos componentes eletrônicos, que infelizmente chegaram duas semanas antes da entrega do projeto, sua confecção se tornou extremamente trabalhosa. Em virtude dessa dificuldade que tivemos por conta da chegada dos componentes, pretende-se ampliar o período de trabalho desse projeto com a finalidade de obter-se o surgimento de outra linha de pesquisa em um projeto futuro, em que se deseja identificar o ângulo ótimo de inclinação de painéis solares na cidade de Recife.

5 Conclusão

Com base no projeto de pesquisa realizado, tem-se que à aplicação do mecanismo empregado no seguidor solar de

dois eixos tem maior eficiência na obtenção de radiação, já que o mesmo possui um melhor desempenho do que as outras formas convencionais de sistemas solares fotovoltaicos de captação de radiação solar.

Referências

- [1] BlueSol Educacional (<http://www.bluesol.com/energia-solar/histria-rpida-da-energia-solar-fotovoltaica/>).
- [2] E. B. Pereira, F. Ramos Martins, S. Luna de Abreu, R. Rüther, Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos. INEP (2006)
- [3] ABAL – Associação Brasileira do Alumínio (<http://www.abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/>).
- [4] Laboratório de Garagem (<http://lab-degaragem.com/forum/topics/motor-dc-de-vi-dro-eletrico-mabuchi>).
- [5] John A. Duffie & William A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes. Third edition.

Obtenção de Biodiesel derivado do óleo de semente de faveleira

Gomes, L. P.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
lucasgomes.18@hotmail.com

Silva, C. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
cleomacio@hotmail.com

Resumo

Hoje em dia dentro da perspectiva do desenvolvimento sustentável, várias maneiras de energias sustentáveis vêm surgindo para suprir a demanda atual. A obtenção de biodiesel derivado do óleo de sementes de oleaginosas está entre as possibilidades de reciclagem energética. Estudos realizados pela Embrapa [1] mostraram que a faveleira (Cnidoscolus quercifolius) encontra-se entre as principais oleaginosas que podem ser utilizadas na produção de biocombustível (biodiesel). Este trabalho, portanto, discute o aproveitamento da faveleira oriunda do sertão pernambucano para produção de biocombustível. Também é objeto deste trabalho obter dados de composição, de caracterização físico-química do óleo das sementes da faveleira e discutir suas vantagens e limitações.

Abstract

Nowadays within the perspective of sustainable development various ways of sustainable energy are emerging to meet the current demand. Obtaining derived biodiesel from oil seeds oil is among the possibilities for energy recycling. Studies by EMBRAPA [1] showed that faveleira (Cnidoscolus quercifolius) lying between the main oil which can be used in the production of biofuel (biodiesel). This paper, therefore, discusses the use of faveleira, from backlands of Pernambuco, for biofuel production. It is also the object of this work to obtain data on the composition, physico-chemical characterization of the seed oil of faveleira and discuss their advantages and limitations

1 Introdução

No último século, combustíveis de petróleo foram as principais fontes de energia no mundo [2]. Atualmente, com o aumento na demanda de petróleo, sua possível escassez e custo, e preocupações políticas e ambientais sobre o uso de combustíveis fósseis, destaca-se a necessidade de desenvolver um processo econômico e energético para a produção sustentável de combustível e produtos químicos [3]. A crise global de combustível em 1970 conscientizou muitos países de sua vulnerabilidade ao embargo e escassez [4], a preocupação em preservar o meio ambiente para gerações futuras tem incentivado o uso de energias renováveis [5], assim considerável esforço vem sendo direcionado no desenvolvimento de processos para produção de combustíveis líquidos, por exemplo, do biodiesel de óleos vegetais [6].

2 Aspectos gerais biodiesel

2.1 Contextos histórico

O emprego de óleos vegetais como combustível é conhecido desde os primórdios do motor a diesel. Em 1900, em uma exposição em Paris, Rudolf Diesel mostrou ao público um motor (que leva o seu nome até hoje) funcionando com óleo de amendoim. O uso do óleo de amendoim foi um pedido do governo francês que, naquela época, possuía várias colônias tropicais que produziam esse óleo.

Além de afirmar que esse tipo de motor traria independência na importação de combustível líquido nas regiões tropicais, Rudolf Diesel acreditava que, em poucos anos, os óleos vegetais teriam a mesma importância dos óleos minerais [7]. Diesel teria conduzido outros experimentos em São Petersburgo, com locomotivas movidas a óleo de mamona e a óleos animais. Em ambos os casos, os resultados foram muito satisfatórios e os motores apresentaram bons desempenhos. Após a Segunda Guerra, os combustíveis derivados do petróleo tornaram-se baratos e abundantes no mercado, constituindo-se, assim, na principal fonte de energia da sociedade contemporânea. Nesse contexto, o diesel de petróleo tornou-se o principal combustível utilizado em motores diesel. No Brasil, em resposta à crise do petróleo de 1973, o Governo Federal criou o “Programa Nacional do Alcool” (PROALCOOL), a primeira medida ampla em âmbito nacional de apoio aos combustíveis renováveis. O objetivo do PROALCOOL era a produção de etanol da cana-de-açúcar para mistura na gasolina ou uso exclusivo (E100) em motores de veículos leves. No início, a adição de etanol na gasolina era de 5 %, todavia, atualmente, varia entre 20 e 25 %. Com essa medida, o Brasil deixou de importar grandes quantidades de gasolina e favoreceu a economia doméstica com a produção de um

combustível renovável, limpo e nacional. O PROALCOOL tornou-se o mais importante programa de biomassa do mundo e o Brasil referência mundial no uso de etanol como biocombustível [8].

Dentre outros incentivos para o desenvolvimento socioeconômico de regiões menos favorecidas do país está, por exemplo, a isenção total de impostos quando os óleos de mamona e palma produzidos no norte e nordeste do Brasil pela agricultura familiar fossem utilizados. Ainda, a ANP garante isenções de impostos e melhores condições de financiamento público para empresas que adquirirem matéria-prima para a produção de biodiesel da agricultura familiar.

2.2 Biodiesel

O biodiesel é uma denominação genérica para combustíveis derivados de fontes renováveis, tais como óleos vegetais (soja, milho, dendê, mamona, palma, etc.) e gordura animal (sebo bovino, gordura de frango) [5]. Os maiores componentes do óleo vegetal e gordura animal são os triacilgliceróis (TAG, conhecido também como triglicerídeos). Triglicerídeos têm sido considerados uma das melhores opções como fonte renovável de energia com potencial para substituir o diesel de petróleo [6]. As aplicações do diesel fóssil têm grande destaque nas áreas de transporte e de geração de energias térmica e elétrica. Quando submetido ao funcionamento de motores térmicos, o biodiesel apresenta um comportamento satisfatório e é visto como um excelente substituto do diesel convencional. Além disso, o fato de o biodiesel ser miscível ao diesel fóssil levou muitos países a testar misturas binárias de biodiesel/petrodiesel, formando o “ecodiesel” [9], que resultou na redução não apenas do consumo de combustível fóssil como também dos impactos ambientais por ele causados.

Entretanto, é importante lembrar que tais misturas não se caracterizam como sendo estritamente biodiesel, recebendo uma denominação de acordo com seu respectivo percentual de biodiesel. Assim, para uma mistura de 2 % de biodiesel em diesel de petróleo, a denominação é B2; para a mistura de 25 %, B25, e assim por diante [10].

2.3 Matérias-primas para a produção de biodiesel

O biodiesel pode ser produzido a partir de várias oleaginosas. Destacam-se como principais fontes o dendê, o babaçu, a soja, o coco, o girassol, a colza e a mamona. É possível fazer misturas dos ésteres de várias origens na obtenção do biodiesel [11]. Empregar uma única matéria-prima para produzir biodiesel, num país com a diversidade do Brasil, seria um grande equívoco. Na Europa usa-se, predominantemente, a colza (canola), por falta de alterna-

tivas, embora se fabrique biodiesel também com óleos residuais de fritura e resíduos gordurosos. No caso do Brasil, têm-se dezenas de alternativas, como demonstram experiências realizadas em diversos Estados com mamona, dendê, soja, girassol, pinhão manso, babaçu, amendoim, pequi, etc [11].

O objeto de estudo desse trabalho é demonstrar que a faveleira também tem um potencial significativo para a produção de biocombustível.

2.5 Obtenção do biodiesel/Metodologia

2.5.1 Preparação da matéria-prima

A preparação da matéria-prima envolve os seguintes procedimentos [12]:

- 1) Mensurar o teor de ácidos graxos livres;
- 2) Misturar 2,25 gramas de metanol com 0,05 gramas de ácido sulfúrico para cada grama de ácido graxo e adicionar lentamente no óleo ou gordura que passará pelo processo de esterificação;
- 3) Agitar a mistura por uma hora à temperatura de 60 a 65 °C;
- 4) Deixar a mistura por 6 a 8 horas, e depois, decantar o metanol, a água e a camada de ácido sulfúrico;
- 5) Separar a fração inferior e medir, novamente, o teor de ácidos graxos livres.
- 6) Retornar ao “Passo 3” se o teor for maior que 2% ou iniciar o procedimento de transesterificação.

2.5.2 Titulação

A quantidade de catalisador é uma importante variável na fabricação do biodiesel. A quantidade mínima recomendada no processo é de 4 gramas de hidróxido de sódio para cada litro de óleo da matéria-prima. O catalisador adicional se determina mediante a titulação do óleo. O indicador para o titulado é uma solução de 1 % de fenolftaleína em álcool etílico. São 10 gotas por titulação. A fenolftaleína é usada para mostrar uma mudança no pH do óleo. Quando o pH é neutro, a fenolftaleína é incolor. Quando o pH se torna básico (à medida que se adiciona hidróxido de sódio), a cor muda para rosa claro. Com esta solução, pode-se determinar quanto catalisador falta para que o óleo passe de ácido para ligeiramente básico. Uma cor rosa claro corresponde a um pH de 8, que é ligeiramente básico.

Para titulação, prepara-se uma solução de hidróxido de sódio a 1/1000 em água destilada. Isso se faz dissolvendo

1 grama de hidróxido de sódio em 1 litro de água destilada. Se não houver como pesar com precisão 1 grama de hidróxido de sódio, pode-se diluir 10 gramas de hidróxido em 1 litro de água destilada, e logo diluir 100 cm³ desta solução em 900 cm³ de água destilada. Em seguida, em um recipiente transparente, mistura-se 1 cm³ de óleo da matéria-prima que queremos titular, com 9 cm³ de álcool isopropílico. Agita-se essa mistura até obter uma mistura homogênea com o óleo vegetal dissolvido no álcool.

A esta solução (óleo + álcool isopropílico) adicionam-se 10 gotas da solução de fenolftaleína a 1 % em álcool etílico, agitando até virar uma mistura homogênea. Se o resultado for uma cor rosa claro e se esta cor permanecer por mais de 10 segundos após a agitação, a titulação está terminada. Tal mudança de cor indica que a amostra de óleo/álcool isopropílico não está ácida, e tem um pH ligeiramente acima de 7. Se a solução óleo/álcool isopropílico/fenolftaleína não mudar de cor, continua-se com a titulação. Para isso, adiciona-se à solução de óleo/álcool isopropílico/fenolftaleína mais 1 cm³ da solução hidróxido de sódio/água destilada. Agitar novamente a mistura. Se obtiver uma cor rosa claro por mais de 10 segundos, a titulação está terminada. Caso contrário, adiciona-se mais 1 cm³ de hidróxido de sódio/água destilada. Devem-se adicionar as quantidades de hidróxido de sódio/água destilada até que se observe o tom rosa claro por mais de 10 segundos. Ao final do processo, são somadas estas quantidades, pois estas serão equivalentes à 1 grama de hidróxido de sódio por litro de óleo da matéria-prima que deverá ser adicionada, além da quantidade mínima de catalisador, para obter um processamento correto do óleo que foi titulado.

3 Resultados

Na Tabela 1 encontram-se os valores dos parâmetros analisados do óleo da faveleira (*Cnidoscolus quercifolius*) de uma região de sequeiro da cidade de Petrolina.

Tabela 1. Parâmetros das análises do óleo da faveleira.

Umidade (%)	0,39
Cinzas (%)	0,67
Cor	0,98
Densidade (g.cm ⁻³)	0,87
Índice de saponificação (mg KOH/g óleo)	255,76
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	0,119
Índice de iodo (g I/ 100 g de óleo)	157,76

4 Conclusão

Os resultados mostraram que o óleo da faveleira cultivada numa região de sequeiro da cidade de Petrolina, na

região do semiárido de Pernambuco, apresentou parâmetros adequados para a obtenção de biodiesel

Referências

- [1] Beltrão, N. E. M.; Oliveira, M. I. P. Oleaginosas potenciais do Nordeste para a produção de biodiesel. Embrapa, Campina Grande. Paraíba, Brasil. 2007.
- [2] TASHTOUSH, G. M.; AL-WIDYAN, M. I.; AL-JARRAH, M. M. Experimental study on evolution and optimization of conversion of waste animal fat into biodiesel. *Energy Conversion and Management*, 2004, 45, p. 2697- 2711.
- [3] HUBER, G. W.; IBORRA, S.; COMA, A. Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysis, and engineering. *Chemical Reviews*, 2006, 106, p.4044-4098.
- [4] PÜTÜN, A. E.; APAYDM, E.; PÜTÜN, E. Rice straw as a bio-oil source via pyrolysis and steam pyrolysis. *Energy*, 2004, 29, p.2171-2180.
- [5] HOLANDA, Aristo. Biodiesel e inclusão social. Brasília: Câmara dos Deputados, 2004. 212 p.
- [6] CAMARGOS, Rodrigo Ribeiro da Silva. Avaliação da viabilidade de se produzir biodiesel através da transesterificação de óleo de grãos de café defeituosos. 2005. 105 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- [7] HAAS, Michael J.; FOGLIA, Thomas A.. Matérias primas alternativas e tecnologias para produção de biodiesel. In: KNOTHE, Gerhard et al. *Manual de Biodiesel*. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. p. 46-66.
- [8] MOREIRA, J. R.; GOLDEMBERG, J. The alcohol program. *Energy Policy*, v. 27, n. 4, p. 229-245, 1999.
- [9] PARENTE, E. J. S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado, Fortaleza: [S.n.], 2003. 66 p. Disponível em: <<http://www.tecbio.com.br/artigos/Livro-Biodiesel.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2014.
- [10] BIOCOMBUSTÍVEIS. Perguntas e respostas sobre este novo mercado. Rio de Janeiro: [S.n.], 2007. 50 p. Disponível em: <http://www2.petrobras.com.br/petrobras/portugues/pdf/Cartilha_Biocombustiveis.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2014.
- [11] COSTA, B. J.; OLIVEIRA, S. M. M. Dossiê técnico: óleo de soja. Curitiba: [S.n.], 2006. 27 p. Disponível em: <www.sbrt.ibict.br>. Acesso em: 24 jul. 2014.
- [12] GERPEN, J. V.; SHANKS, B.; PRUSZKO, R.; CLEMENTS, D.; KNOTHE, G. Biodiesel Production Technology. USA: National Renewable Energy Laboratory - NREL/SR-510- 36244, 2004. 110 p.

Scanner Laser 3D de Baixo Custo

Cabral, R. J. R. O.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
rayanmecatronics@gmail.com

Gómez-Malagón, Luiz A.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo *O processo de fabricação de peças ou componentes mecânicos segue uma metodologia bem definida e que faz parte do ciclo de vida do produto. Durante este ciclo, o desenho assistido por computador, também conhecido como CAD (Computer Aided Design) é a ferramenta empregada no início do projeto de qualquer produto. Com esta ferramenta é possível desenhar em três dimensões o objeto que queremos construir. Uma vantagem deste sistema é que o objeto virtual pode ser modificado facilmente e sem custos adicionais para o projeto. No entanto, o objeto virtual é construído dentro do programa CAD e não importado de um objeto real.” Para solucionar este problema, foi construído um scanner para objetos tridimensionais que destina-se a importar o objeto real para o computador de maneira prática e sem os altos custos de mercado que impedem a utilização deste tipo de dispositivo em larga escala.*

Abstract *The manufacturing process of parts or mechanical components follows a well-defined methodology which is part of the life cycle of the product. During this cycle, the computer aided design, also known as CAD (Computer Aided Design) is a tool used early in the design of any product. With this tool you can draw in three dimensions the object we want to build. An advantage of this system is that the virtual object can be modified easily and without additional cost to the project. However, the virtual object is built inside the CAD program and not imported from a real object. To solve this problem, one scanner for three-dimensional objects was built aiming to import the real object to the computer in a practical way and without the high costs of market that prevent the utilization of this type of device on a large scale.*

1 Introdução

No ciclo de vida de um produto, de início, o projetista deve identificar uma necessidade e seguidamente deverá propor algumas soluções ao problema. Estas soluções deverão ser analisadas individualmente, visando encontrar o ponto de equilíbrio entre o custo e o preenchimento dos requerimentos do projeto. Nesta fase, o designer emprega o uso de técnicas analíticas ou computacionais para escolher sua solução. Em alguns casos, é necessária a construção de um protótipo para validar a solução proposta e realizar as mudanças possíveis antes do projeto ser enviado para manufatura. Uma vez definida a solução, o projeto da peça é enviado para o setor de fabricação para depois a peça poder ser distribuída e comercializada. O cliente empregará a peça até que esta não preencha mais suas necessidades e seja descartada e, finalmente reciclada. Desta forma, o ciclo de vida do produto é fechado [1].

Durante este ciclo, o desenho assistido por computador, também conhecido como CAD (Computer Aided Design) é a ferramenta empregada no início do projeto de qualquer produto. Com esta ferramenta é possível desenhar em três dimensões o objeto que queremos construir. Uma vantagem deste sistema é que o objeto virtual pode ser modificado facilmente e sem custos adicionais para o projeto. O objeto criado pode ser empregado para a análise de engenharia como, por exemplo, fazer a análise de tensões mecânicas, distribuição de temperatura, etc., usando a ferramenta computacional conhecida como CAE (Computer Aided Engineering). Uma vez que a peça atenda as exigências do projeto, o objeto virtual passa pela análise da manufatura no programa CAM (Computer Aided Manufacturing), onde é criado o código que será enviado para as máquinas CNC (Computer Numeric Control) para sua construção física [2].

Durante este processo, o objeto virtual é construído dentro do programa CAD e não importado de um objeto real. No entanto, durante o exercício da engenharia reversa, o objeto virtual é copiado do mundo real empregando um scanner, visando melhorar seu design e construir outra com as mesmas funcionalidades [2].

Uma tendência moderna na fabricação de componentes está no uso de tecnologias “on demand” ou técnicas de prototipagem rápida. Neste caso, a peça em formato digital é construída no mundo real usando uma impressora 3D. A grande vantagem deste modelo de manufatura é que o modelo 3D pode ser fabricado sem a necessidade de uso de programas de CAPP (Computer Aided Processes Planning) para fazer o planejamento da manufatura, isto quer dizer que não é necessário definir ferramentas de corte, analisar as trajetórias da ferramenta previamente, visualizar colisões da ferramenta com a máquina, etc [2,3].

Sendo assim, a junção das técnicas de “scanning” e prototipagem rápida, permitem ao projetista a construção de modelos que dificilmente poderiam ser construídos usando as técnicas convencionais de fabricação, como por exemplo, próteses [4].

2 Técnicas Scanning

Um SCANNER 3D é um dispositivo que analisa um objeto real para coletar dados sobre a sua forma e aparência. E com isto, os dados recolhidos podem então ser utilizados para construir modelos tridimensionais digitais. Na verdade, há uma longa fila de diferentes tecnologias que foram criadas para realizar essa tarefa. Isso não é tão surpreendente quando se considera o fato de que nenhuma tecnologia de digitalização 3D pode digitalizar toda a gama de diferentes objetos que nos rodeiam [5, 6].

Com o intuito de acomodar as diversas técnicas de digitalização, os métodos de scanning 3D podem ser classificados como de contato ou sem contato [7].

2.1 Scanner 3D de contato

Nesta técnica, a fim de compreender a geometria do objeto, um sensor de toque é guiado por um braço mecânico ou outro mecanismo coordenado por um sistema de medição automático ou assistido por um usuário (manual) que obedece o sistema de coordenadas cartesianas. A cada toque no objeto, um ponto terá a sua posição 3D registrada na memória e a qualidade do escaneamento resultante dependerá da quantidade de pontos registrados [6].

Entretanto, os scanners de contato são bastante lentos e geralmente não são usados para fazer modelos com um grande número de detalhes. Além disso, estes implicam em aparelhos volumosos possivelmente muito caros devido aos instrumentos necessários [6].

2.2 Scanner 3D de não contato

Scanners sem contato incluem uma gama muito maior de tipos, porém, fornecem uma precisão menor do que sua versão de contato. Estes também costumam exigir mais envolvimento do usuário para configurá-los corretamente. No entanto, scanners sem contato possuem taxas muito mais altas de varredura (varredura mais rápida). Estes podem ser mais facilmente modificados para digitalizar diferentes tamanhos de objeto. E, como o nome indica, scanners sem contato não tocam o objeto durante a digitalização. Essas propriedades os tornam muito populares. Além disso, alguns desses scanners podem realmente analisar dentro de certos objetos também. Por exemplo, o

aparelho de ressonância magnética pode digitalizar dentro de um organismo vivo [6].

Os scanners sem contato utilizam algum tipo de radiação para fazer suas medições. Podem ser raios-x, lasers, infravermelho, campos magnéticos ou mesmo luz visível. As características específicas de cada radiação pedem técnicas específicas para processar os dados lidos e transformá-los em informações úteis. Um exemplo de scanner 3D sem contato é o MakerBot Digitizer [8].

A lógica geral de funcionamento de todo scanner 3D sem contato é a mesma. Este “conhece” as propriedades naturais da radiação que usa. Estas propriedades são levemente alteradas quando a radiação interage com qualquer objeto. Ela pode ser refletida, refratada ou sofrer algum outro tipo de interferência. Ao medir o que aconteceu com a radiação que interagiu com o objeto, ele pode inferir informações sobre o que causou estas alterações [8].

Quando o scanner usa a radiação ambiente (como a luz, por exemplo) ele é denominado scanner passivo. Por sua vez, os scanners ativos são aqueles que contêm sua própria fonte de radiação [8].

3 Objetivo

Construir um Scanner laser de baixo custo.

4 Materiais e Metodologias

Provavelmente o tipo mais impressionante e bem conhecido dentro da categoria dos scanners sem contato é o scanner laser. Este é um dispositivo conta com um feixe de laser (linha de varredura), que é projetado sobre a superfície que vai ser copiada, e uma câmera de vídeo para coletar a imagem criada pelo laser sobre a peça. Vendo o objeto em um ângulo, a câmera irá revelar uma linha deformada que segue a curvatura da superfície do objeto. Usando o ângulo da câmera conhecido (ângulo entre a câmera e a linha de varredura), a posição 3D relativa de cada ponto da linha pode ser calculada. O objeto é então rodado de um incremento e o processo é repetido. Esta operação é realizada várias vezes modificando a posição do feixe laser sobre o objeto através de um atuador mecânico atuando na peça ou no feixe laser. Repetindo o processo em toda a superfície do objeto cria-se um conjunto completo em 3D do modelo de dados (mapeamento) do objeto. Este conjunto de dados contém pontos, cada um representando as posições 3D do objeto digitalizado. O objeto é construído, ligando esses pontos para formar uma circunferência, ou seja, representação do modelo 3D no computador [6].

Para construir tal dispositivo, inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as técnicas de digitalização de objetos 3D. Após a revisão foi proposto um sistema mecânico no qual foi modelado usando o software SolidWorks. O controle dos componentes do dispositivo tais como, laser, câmera e atuador mecânico foi realizado através da plataforma ARDUINO. Finalmente, foram testados alguns softwares disponíveis na internet e a escolha foi baseada no desempenho dos programas.

5 Resultados

O projeto para a construção do Scanner Laser 3D englobou um conjunto de processos nos quais foram realizados seguindo um plano de metas. Este teve sua pauta (Cronograma) dividida de maneira que primeiro houvesse a construção do Hardware (montagem do aparato mecânico e obtenção dos componentes eletrônicos) para depois ser realizada a manipulação dos Softwares com testes de sincronia entre os sistemas mecânico, eletrônico e computacional durante toda a execução do projeto.

CRONOGRAMA														
	Ano	2013			2014									
	Mês	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	
Revisão bibliográfica														
Modelagem mecânica														
Controle do motor de passos														
Controle do feixe laser														
Construção mecânica														
Análise de imagens														
Teste do dispositivo														
Relatório de atividades														

Fig. 1. Plano de metas (Cronograma).

5.1 Projeto Mecânico

Antes da construção do protótipo, fez-se necessária uma abordagem gráfica virtual para facilitar possíveis modificações no esboço. Como o próprio nome indica, um Scanner Laser 3D de Baixo Custo exige que os materiais utilizados sejam baratos e de fácil acesso. Para isso, a modelagem do protótipo foi realizada através do SolidWorks e este foi construído considerando as propriedades do material utilizado, o custo e a sua disponibilidade no mercado.

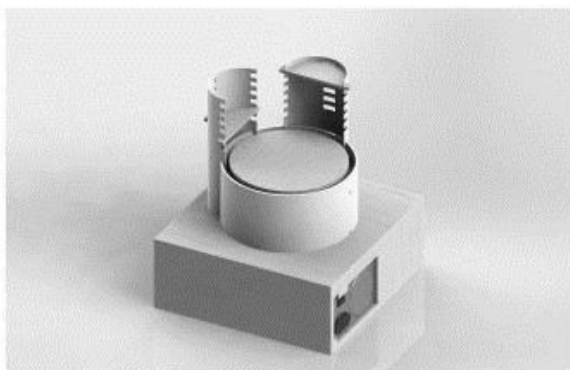


Fig. 2. Protótipo do Scanner (Solidworks).

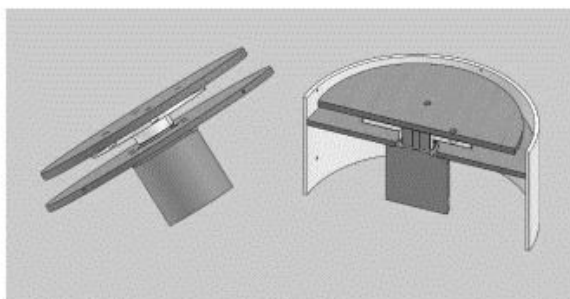


Fig. 3. Bloco superior (conjunto motor + prato).

Como indicado na Fig. 2, a modelagem conferiu ao projeto mecânico uma divisão em dois blocos. Pode-se verificar que o bloco superior, trata-se de um cano de PVC de 200mm de diâmetro que comporta o sistema atuador. Este possui um motor de passo que é sustentado por um disco de madeira de mesmo raio que a borda interior do cano para que este fique justo, além de outro disco de madeira nomeado de “prato”. O prato é conectado ao eixo do motor e possui a função de transmitir o movimento de rotação para o objeto de maneira mais aderente.

Por sua vez, o bloco inferior representado na Fig. 4 consiste de uma caixa de madeira montada para a acomodação dos circuitos eletrônicos, tais como uma fonte de alimentação e o Arduino. Enquanto elementos como Laser e a câmera tiveram de ser sustentados por uma “torre” que, como pode-se ver na Fig. 5, sofreu modificações durante a manufatura do projeto para melhor se adaptar com a angulação e a distância requerida. Os materiais utilizados para a sua construção foram suportes de prateleiras (cantoneiras) e conexões para tubos de PVC.

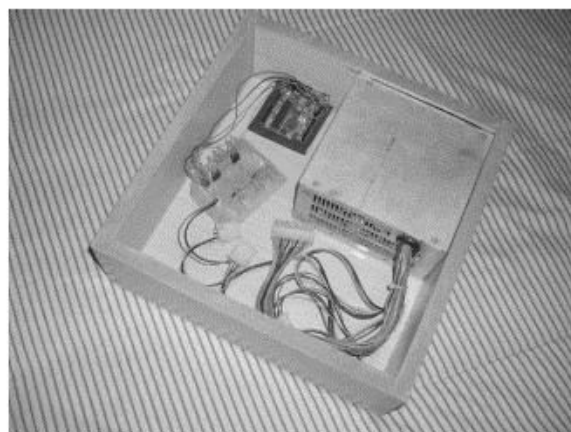


Fig. 4. Bloco inferior do Scanner 3D onde é possível visualizar o Arduino, a fonte e a placa confeccionada para auxiliar no controle do motor de passo.

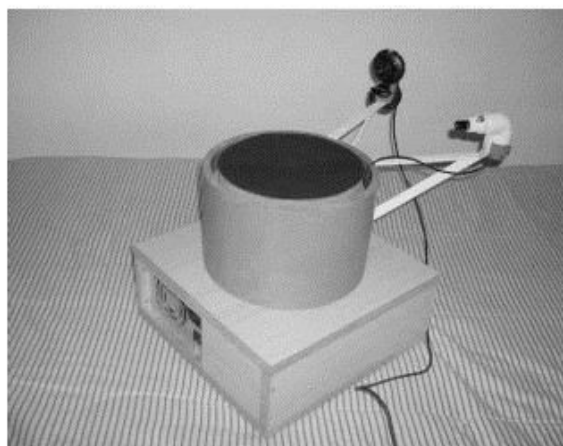


Fig. 5. Estrutura do Scanner completa incluindo as duas torres feitas com conexões de PVC e suportes de prateleira (cantoneiras).

5.2 Projeto Eletrônico

O Arduino foi fundamental para a conclusão do projeto. Este atua enviando pulsos através de suas portas digitais para cada uma das bobinas do motor de passo em uma sequência predefinida. Porém, o motor exige uma intensidade de corrente muito superior à que o Arduino pode oferecer. Para isto, uma placa foi confeccionada com o objetivo de chavear a passagem de corrente da fonte para cada fase do motor através dos pulsos do Arduino. Cada transistor contido na placa representa uma chave, onde o Arduino é ligado na base, a fonte no coletor e o motor no emissor.

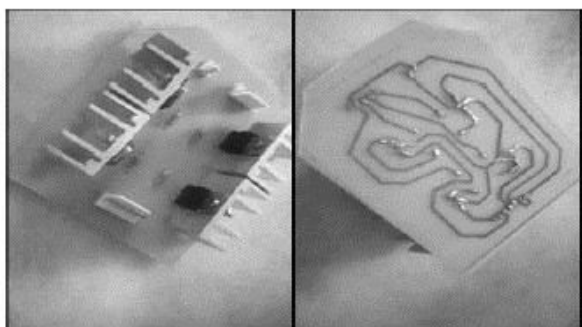


Fig. 6. Placa confeccionada para auxiliar no controle do motor de passo.

Outra instrução atribuída ao Arduino foi a simples função de ligar/desligar o Laser através de comando via porta serial. O laser é do tipo linear, como já dito na fundamentação teórica e, para a câmera, foi escolhida uma webcam devido ao custo reduzido.

Ao mesmo tempo, testes foram realizados a medida que cada meta era cumprida, criando um verdadeiro sistema mecatrônico onde cada elemento adicionado se tornava parte de uma rede de subsistemas administrados pelo usuário. Um exemplo prático é o fato de que quando a fonte tem seu interruptor acionado, a corrente flui através de seus fios até a placa confeccionada, encontrando as chaves transistorizadas em seu estado fechado. Com a ação do Arduino, pulsos elétricos sequenciais são enviados a base dos transistores alterando o estado das chaves para aberto, permitindo assim que a corrente volte a fluir e haja no motor de forma que cada uma de suas bobinas sejam acionadas e o prato inicie o processo de rotação segundo “passos”. Como resultado disto, foram obtidas todas as ferramentas necessárias para o início da utilização do software de digitalização 3D.

5.3 Software e Digitalização 3D

A tecnologia de digitalização 3D existe há muitos anos. Apesar disso, este tipo de tecnologia não tem sido acessível para a maioria de nós. O nível de complexidade envolvido, o poder de computação disponível para processar e exibir os dados e, os elevados custos dos instrumentos necessários e desenvolvimento de produtos, são as três principais razões para isso [6].

Em virtude do que foi dito, optou-se por utilizar dois softwares devido a uma melhor compatibilidade apresentada com os sistemas operacionais mais comuns do mercado, sem exigir do computador grande capacidade de processamento ou qualquer custo adicional no orçamento do projeto, são eles “TriAngles 3D Circumference Scanner 2.0” e “TriAngles 3D Builder 2.0” (Copyright © 2006-2009 intricad).



Fig. 7. Interface do software TriAngles 3D Scanner.

Para um melhor entendimento do processo de digitalização, o resultado final do escaneamento foi nomeado de “modelo” e este, por sua vez, é composto por dois elementos fundamentais para a sua criação. O primeiro, chamado “geometria”, é o fator que define a forma final do modelo baseada na forma do objeto real e em sua interação com o Scanner. O outro elemento, denominado “textura”, confere ao modelo as cores e a aparência superficial semelhantes as encontradas no objeto e, é através do TriAngles 3D Circumference Scanner 2.0 que pode-se obter ambos os elementos.



Fig. 8. Objeto escolhido para ser digitalizado (Pote de bicarbonato de sodio).

A escolha do objeto se baseiou em algumas limitações existentes em relação às suas propriedades superficiais. O fato de este possuir uma superfície translúcida, transparente ou conter grande capacidade de refletir, dificulta a ação de varredura, bem como a escolha de um objeto colorido implica em uma provável alteração na geometria do modelo. Isto acontece devido às propriedades óticas dos materiais e das cores que conferem a estes diferentes coeficientes de absorção e reflexão. Por isto, o objeto escolhido foi fosco e bicromático para facilitar a varredura e também, testar as capacidades do Scanner Laser 3D.

O processo foi iniciado com o acionamento dos dispositivos contidos na estrutura do Scanner, isto é, a ligação da fonte na rede elétrica, além da conexão da webcam e do Arduino com o computador, esperando que o laser e o motor trabalhassem segundo as instruções enviadas pelo Arduino já explicadas neste artigo. Sobre o centro do prato, foi inserido o objeto a ser digitalizado e a webcam foi ligada por meio do TriAngles 3D Circumference Scanner 2.0. Com isto, a calibração da câmera foi realizada posicionando sua lente perpendicularmente ao prato em uma altura média do objeto de maneira que esta ficasse no centro da imagem, assim como o feixe laser. Após a calibração, foi importante manter o ambiente com baixa luminosidade para que, durante a varredura, o feixe laser tivesse um maior contraste em relação ao objeto, tornando possível a obtenção de melhores resultados. Além disso, foi essencial que o vídeo resultante capturasse os 360 graus da varredura para que todos os quadros (frames) necessários pudessem ser utilizados.



Fig. 9. Processo de Varredura.

Após isto, mais memória foi alocada e uma série de comandos tiveram de ser executados durante o processo. Um dos mais interessantes comandos do Triangles, o "Scan Line Isolation", permite que o molde da geometria seja ajustado de acordo com o nível de intensidade luminosa das zonas que o feixe percorreu. Após isto, o processo de compilação foi responsável pela construção da geometria.

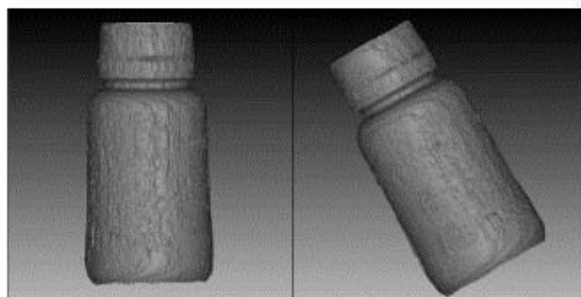


Fig. 10. Scan da geometria do objeto (Pote).

Para a obtenção da textura, foram seguidas as mesmas instruções do tópico anterior, exceto uma. Neste caso, um vídeo nítido e com uma boa qualidade implica em um

melhor resultado. Então, através do processo de compilação, foi digitalizada a textura do objeto em 360 graus, finalizando a utilização do TriAngles 3D Circumference Scanner 2.0.



Fig. 11. Scan da textura do objeto.

Outras ferramentas que são essenciais em programas de digitalização 3D são os filtros. Estes são responsáveis pela diminuição das imperfeições da geometria gerada que comumente surgem durante o escaneamento. Utilizando o TriAngles 3D Builder 2.0 alguns filtros puderam ser conhecidos, testados e aplicados no decorrer do projeto:

- Suavização/Smooth: consiste na suavização da superfície da geometria do modelo com liberdade de aplicação tanto em pequenas áreas localizadas quanto em uma ampla gama de pontos.
- Deletar/Delete: apaga seções da superfície do modelo.
- Amolecimento/Soften: filtro muito similar a Suavização, no entanto, o seu índice de supressão de detalhes é mais elevado.
- Brilhar/Shine: aplicação de brilho.
- Polir/Add Gloss: aplicar aparência polida.
- Colorir/Color: Aplicação de cor.

Como mencionado, um modelo é uma composição de geometria e textura. Outra função do TriAngles 3D Builder 2.0 é unir estes dois elementos. Com isto, a textura foi aplicada sobre a geometria e a Fig. 12 revela o modelo concluído.

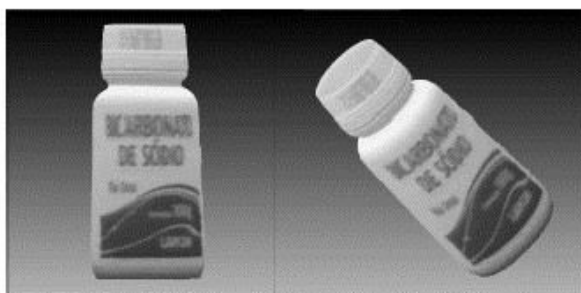


Fig. 12. Modelo – Objeto digitalizado (Pote).
(Resultado Final)

Outro objeto, um Jarro, que apesar de ser colorido, também foi digitalizado com o intuito de comprovar a eficiência do Scanner Laser 3D de Baixo Custo construído neste projeto.



Fig. 13. Objeto escolhido para ser submetido a outra varredura e digitalizado.

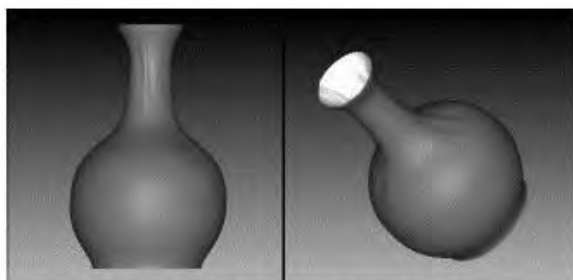


Fig. 14. Scan da geometria do objeto (Jarro).

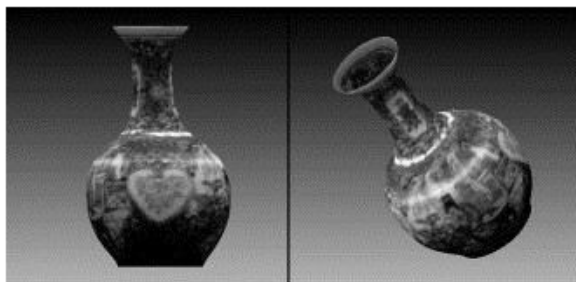


Fig. 15. Modelo – Objeto digitalizado (Jarro).

6 Conclusão

Algumas técnicas de prototipagem rápida estão cada vez mais incluídas em meio a sociedade em que vivemos. Um exemplo de dispositivo que aborda este tipo de técnica é a impressora 3D. Esta possui a função de imprimir quaisquer objetos já modelados em algum software de modelagem computacional. E, se usada em conjunto com um Scanner Laser 3D é possível a duplicação de objetos já existentes, bem como o aperfeiçoamento do seu design.

O Scanner Laser 3D é uma ferramenta inovadora que nos permite digitalizar objetos em três dimensões para um estudo mais aprofundado de sua geometria, visando uma análise mais confortável das suas dimensões e características. Além disso, é através deste dispositivo que é possível uma futura alteração do design de um produto já em fabricação, desconsiderando assim o árduo trabalho de remodelar o produto (se este o foi), partindo desde o seu início.

O Scanner Laser 3D construído neste projeto, foi modelado previamente de maneira a oferecer mais simplicidade para o usuário no sentido de facilitar a mobilidade e o uso do dispositivo. O Scanner consiste de apenas uma estrutura única, não sendo necessários vários aparatos e periféricos para o seu uso e, o que facilita no seu transporte é o fato de ser desmontável. Além disso, por apresentar uma estrutura composta por materiais de baixo custo de mercado como madeira e PVC por exemplo, este Scanner tornou-se um produto resultante muito mais barato, apresentando assim, bons motivos para atrair novos usuários.

A tecnologia envolvida no funcionamento do Scanner Laser 3D foi fundamentada em conceitos teóricos da eletrônica e da física, além de incluir a utilização do Laser, um dispositivo frequentemente empregado na área de fotônica. Vale lembrar que neste projeto, uma placa de circuitos foi produzida da a sua modelagem até a sua confecção.

O processo de digitalização foi realizado com o auxílio de softwares que tornaram possível a conclusão deste projeto. Os objetos apresentados foram submetidos ao processo de varredura e captação de sua geometria e textura de maneira cuidadosa, objetivando a obtenção do melhor modelo possível.

Em virtude de todos os fatos mencionados, o Scanner Laser 3D desenvolvido neste projeto apresenta grandes capacidades de digitalização, bem como um grande potencial de utilização devido a praticidade e o baixo custo que este possui advindo da necessidade de um produto mais barato no mercado.

Referências

- [1] M. P. Groover. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and systems. Wiley (2010).
- [2] M. P. Groover. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. Prentice Hall (2007).
- [3] N. Volpato. *Prototipagem Rápida*. Ed. Blucher (2007).
- [4] L. Ciocca, R. Scotti, "CAD-CAM generated ear cast by means of a laser scanner and rapid prototyping machine," J. Prosthet. Dent. 92, 591-595 (2004).
- [5] Wikipedia, *3D Scanner*. Disponível em: <www.en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner>. Acesso em: 4 de setembro de 2014.
- [6] Manual do programa de computador "TriAngles 3D Circumference Scanner, Version 2.0", Intracad
- [7] IHS GlobalSpec, *3D Scanners Information*. Disponível em: <www.globalspec.com/learn-more/manufacturing_process_equipment/inspection_tools_instruments/3d_scanners>. Acesso em: 6 de setembro de 2014.
- [8] Manoel Lemos, *Scanners 3D - descubra o que são e como funcionam*. Disponível em: <blog.fazedores.com>. Acesso em: 7 de setembro de 2014.

Utilização de Diversos Tipos de Biomassa em Piro-lisador Multicombustível

Silva, T. L. C.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
thomazlucasc@gmail.com

Loureiro, E. C. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Autor2@meu-email

Resumo

A utilização da conversão de biomassa é uma solução interessante tanto para a geração energética quanto para a eliminação dos resíduos, de forma menos agressiva ao ambiente. A pirólise é uma reação de decomposição que ocorre pela ação de altas temperaturas. Ocorre a ruptura da estrutura molecular original de um composto pela ação do calor em um ambiente com pouco ou nenhum oxigênio. O processo é autossustentável, pois a decomposição química pelo calor na ausência de oxigênio, produz mais energia do que consome. O processo de pirólise produz biocombustíveis líquidos e gasosos, como bio-óleo e gás de síntese. O principal objetivo na atualidade é o desenvolvimento em escala industrial de plantas para a produção de bio-óleo visando sua aplicação como combustível. Nesta pesquisa pretende-se desenvolver um pirólisador multicombustível capaz de operar com diversos tipos de combustíveis como alternativa tecnológica ao uso de gás natural em UTE (Usinas Termelétricas).

Abstract

The use of biomass conversion is an interesting solution for both energy generation and for the disposal of waste, in a form less aggressive to the environment. Pyrolysis is a decomposition reaction that occurs by the act of high temperatures. Occurs the rupture of the original molecular structure of a compound by the action of heat in an environment with little or none oxygen. The process is self-sustaining because the chemical decomposition by heat in the absence of oxygen, produces more energy than it consumes. The pyrolysis produces liquid and gas biofuels such as bio-oil and synthesis gas. The main objective nowadays is the development of industrial-scale plant for the production of bio-oil as fuel for their application. This research aims to develop a flex pyrolyzer able to operate with different types of fuels such as technological alternative to the use of natural gas in TPP (Thermal Power Plants).

1 Introdução

O presente projeto tem como objetivo principal a verificação das propriedades energéticas de diversos tipos de biomassa, a escolha da melhor matéria-prima e a análise dos gases produzidos pela sua utilização em um pirolisador multicomcombustível. Este objetivo será alcançado após serem realizadas as seguintes metas:

- 1- Revisão bibliográfica;
- 2- Caracterização dos insumos energéticos;
- 3- Análise qualitativa e quantitativa dos gases produzidos no pirolisador;
- 4- Estudos do Sistema de purificação do gás sintético e da elevação do poder calorífico;
- 5- Emissão do Relatório Final e Publicação de Artigo

Essa pesquisa, que continua em andamento, é realizada na POLICOM-UPE, com ajuda de mestrandos, doutores, docentes e discentes que entendem sobre o assunto vigente. Esse projeto é de grande importância para o conhecimento de engenheiros que visam trabalhar na área de Engenharia Térmica, Sistemas Elétricos de Potência e Fontes alternativas de energia, pois essa tecnologia tende a se tornar uma alternativa para a geração de energia elétrica.

2 Material de Estudo

A fim de diminuir a dependência em relação às fontes não renováveis e possibilitar a geração de mais eletricidade em um sistema pouco diversificado, as pesquisas para o uso de fontes renováveis de energia, como a biomassa, foram intensificadas. A utilização da energia da biomassa, que compreende toda a energia proveniente das vegetais e os resíduos resultantes de seu uso, surge como uma alternativa promissora e ambientalmente viável para a redução do consumo de combustíveis fósseis e pode contribuir significativamente para a diminuição das emissões dos gases do efeito estufa [1]. O interesse na utilização deste insumo renovável para geração de energia é atribuído, principalmente, ao fato de o mesmo ser capaz de produzir energia de forma contínua (energia firme), ser neutro na produção de dióxido de carbono, fornecer a energia nas diversas formas (combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, calor e eletricidade) conforme a sua aplicação e conseguir suprir a necessidade de energia sem sistemas complexos de conversão [2]. Além disso, a utilização da biomassa com base em culturas energéticas pode ajudar na restauração de terras improdutivas e degradadas, fertilização do solo e retenção de água [3].

A alternativa de pirolisar a biomassa, transformando o seu potencial em gás e, posteriormente, em combustível para uma usina termelétrica que não dispõe de outro combustível fóssil, torna-se cada vez mais atraente, principalmente quando se trata de locais isolados e desprovidos de eletricidade.

2.1 Pirólise

Com o objetivo de concentrar a energia da biomassa, preferimos neste desenvolvimento realizar a pirólise rápida com tempo de reação de 0,5 – 1 s, a 500-550 °C em ausência de oxigênio, com aquecimento indireto através de recirculação de gases da própria pirólise eletricamente aquecidos e aquecimento elétrico da parede metálica do reator para produzir cerca de 65 % de óleo pirolítico, 20% de carvão vegetal e 15% de gás de pirólise.

A transferência rápida de calor para a biomassa é a principal dificuldade do processo de pirólise rápida, assim, preferimos que a biomassa seja seca, opcionalmente torrada, moída e classificada em pedaços menores do que 3 mm.

2.2 Pirolisador

O processo se inicia com biomassa seca, e moída alimentada a partir do Silo de Alimentação Agitado, com Rosca Transportadora refrigerada e selada com o próprio gás de pirólise para evitar fluxo de gases do reator para o silo. O reator é um Leito Fluidizado contendo areia, fluidizada com gases não condensados da própria pirólise alimentados pelo soprador, na qual a biomassa é alimentada. A altura do leito expandido é de 300 -400 mm. O reator possui instaladas externamente resistências elétricas no plenum e no leito para aquecimento através da parede metálica. O carvão vegetal mais grosso produzido no reator é removido logo acima do leito de areia expandido para um Depósito de Carvão.

Os gases pirolíticos quentes, com temperatura 500 -550 °C, arrastam os carvões mais finos, cinza e finos da areia formados por atrito na fluidização que passam através de dois ciclones isolados com fibra cerâmica e aquecidos com filamentos de resistência elétrica necessários para início de operação e para evitar a condensação de alcatrão pesado na parede interna do equipamento.

As frações de carvão vegetal provenientes dos ciclones são coletadas nos depósitos para carvão. Os gases pirolíticos quentes provenientes do ciclone são enviados para "Quencher" Adiabático e Separador de Fases. O líquido utilizado para "Quench" é o condensado sobrenadante do separador de fases por ser imiscível com o alcatrão pesado. Antes de ser alimentado no o líquido é resfriado até 15 °C

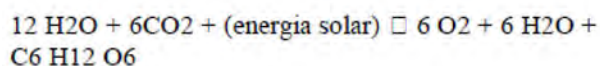
e injetado em aspersores pela bomba com pressão de 2-4 bar. A fase gasosa efluente do quencher encontra-se saturada a 16°C e passa pelo separador ciclônico para remoção de gotas e em seguida é dividida em duas frações, uma para o queimador de gás e outra para o resfriador com gelo para ser resfriada a 0°C, para elevar o índice de remoção de voláteis condensáveis, é recirculado através do soprador. Antes de ser injetada no leito fluidizado essa corrente é aquecida até 500-550 °C com o Aquecedor Elétrico. Após consumir totalmente a biomassa, durante o resfriamento dos equipamentos e das linhas é realizada a purga com gás inerte proveniente do cilindro contendo nitrogênio ou argônio.

2.3 Biomassa

Biomassa é toda matéria orgânica oriunda de seres vivos encontrados nos seus respectivos ecossistemas, sejam eles terrestres ou aquáticos, mas que, principalmente, aqueles que acumulem energia para sua manutenção. A biomassa é um recurso renovável, visto que a sua reposição no meio ambiente acontece dentro de uma escala de tempo dita como „humana“ ou seja; ao longo da vida de um ser humano. Esses recursos são considerados infinitos, pois tanto os vegetais quanto os animais se reproduzem, perpetuando a existência de sua espécie. No caso do petróleo, apesar de ter origem em compostos de biomassa vegetal restos de animais e plantas, sua reposição pela natureza se dá em escalas de tempo muito superiores à humana, por isso é definido como uma fonte não renovável de energia.

2.4 Biomassa Vegetal e Energia

A biomassa vegetal contém cadeias de carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O) em proporções que variam de acordo com cada espécie. A presença de O na base química da biomassa vegetal é que a diferencia dos combustíveis fósseis que possuem principalmente cadeias de C e H. Em seu ciclo de vida, os seres vegetais são chamados de autótrofos, isto é, produzem seu próprio alimento e para isso utilizam-se do processo de fotossíntese. O CO₂, produto da reação é absorvido pelos vegetais no processo da fotossíntese, conforme mostra a equação.



Assim, o processo de conversão energética da biomassa vegetal só restitui para a atmosfera o gás carbônico (CO₂) absorvido pelo vegetal no seu processo de crescimento, fazendo com isso o ciclo fechado do C ocorrer. Esse reaproveitamento do C dá ao uso da biomassa vegetal uma vantagem em relação aos combustíveis fósseis, onde

neste caso o CO₂ (com seus subprodutos como CO) é lançado na atmosfera, em quantidades muito elevadas para que ocorra a absorção total pelos vegetais [5].

3 Escolha da Biomassa

Para que fosse possível realizar a escolha das espécies foi enviada à EMLURB(Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana) uma carta de intenções para que a mesma fornecesse à Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco a matéria prima necessária aos testes. Nessa correspondência, endereçada à DLU(Diretoria de Limpeza Urbana), foi solicitado que fossem enviados ao UPE(Universidade de Pernambuco) 500 kg de material lenhoso proveniente das espécies vegetais conforme tabela1:

Tabela 1. Espécies Escolhidas.

NOME	USUAL CIENTÍFICO
Acácia Mimosa	<i>Phytolobium Dulce</i>
Amendoeira	<i>Terminalia Catappa</i>
Ficus	<i>Ficus bejamina L.</i>
Oitizeiro	<i>Licania Tomentosa</i>

As 4 espécies escolhidas foram definidas por comporem as mais encontradas na Região metropolitana de Recife. Essa informação foi obtida no estudo realizado por Fátima M. (2005). Em sua pesquisa de campo ela identificou 1527 indivíduos de 31 espécies que comprometiam (ou poderiam vir a comprometer) a manutenção do funcionamento das redes de distribuição elétrica da CELPE(Companhia Energética de Pernambuco). As 4 espécies selecionadas estão dentre as 5 que possuem maior frequência. Além disso, Fátima M. (2005) cita que Recife foi a cidade onde se encontrou a maior abundância de espécies, ficando acima de 40% do total de indivíduos levantados.

O que poderia colaborar para as informações das espécies existentes em Recife, seria a informação da própria Prefeitura, mas infelizmente, ela não dispõe de números oficiais de quantidades de espécies plantadas, razão pela qual se buscou as informações em trabalhos científicos e em depoimentos de profissionais da área responsável pelas podas.

4 Impactos

A utilização da biomassa como fonte de energia, tem gerado grande interesse em virtude da decadência das reservas de combustíveis fósseis, sendo o Brasil o terceiro maior produtor de bio-eletricidade perdendo apenas para os Estados Unidos e a Alemanha [6]. O estabelecimento dessa nova tecnologia de conversão de matéria-prima é uma grande oportunidade principalmente na geração de eletricidade para regiões isoladas.

Uma das grandes desvantagens da utilização da biomassa consiste na grande demanda de mão-de-obra intensiva para produzir, colher, transportar, pois a mesma se encontra dispersa nas grandes regiões. Porém, essa grande necessidade de mão-de-obra é uma excelente oportunidade para a geração de empregos nas plantações.

Enfim, além dessa tecnologia ser de grande ajuda na área ambiental e socioeconômica, possui seu lado negativo em virtude do alto teor de cinzas. Porém, seus grandes efeitos minimizam as dificuldades, pois a biomassa é considerada o combustível com grande potencialidade no setor elétrico como alternativa em virtude do declínio dos combustíveis fósseis.

5 Delineamento experimental e tratamentos utilizados

Nos primeiros meses do Projeto, ocorreram os levantamentos bibliográficos sobre o processo de pirólise por meio das teses de doutorados. Além de livros e seminários ligados ao assunto com a finalidade de dar prosseguimento à pesquisa.

Após o período de entendimento teórico sobre o assunto, houve o treinamento, com ajuda de mestrands, doutores, docentes e discentes que trabalham na UPE, para a utilização dos equipamentos do laboratório de combustíveis com a finalidade de executar os ensaios necessários para a caracterização das biomassas.

De forma a manter a mesma coerência com a atividade diária do processo, pela manutenção das árvores, foi solicitado na carta para a EMLURB que a mesma enviasse a biomassa vegetal em cavacos, utilizando-se do mesmo equipamento que é usado hoje nas ruas. Por definição de projeto e como característica de melhor desempenho, o Piroli-sador deve ser abastecido com biomassa vegetal em tamanhos não maiores que 3mm, porém a biomassa vegetal é fornecida pela EMLURB na forma de cavacos.

5.1 Variáveis analisadas / Tipos de análises de dados

A análise da biomassa consiste em caracterizar através de procedimentos que visam avaliar as propriedades físico-químicas das matérias-primas. Para tal finalidade, realizam-se as seguintes etapas: pré-tratamento da matéria-prima, caracterização físico-química e ensaios de gaseificação e pirólise da biomassa. Todos esses procedimentos são realizados no laboratório de combustíveis e energia POLICOM, que dispõe de equipamentos adequados para os ensaios laboratoriais.

5.2 Pré-tratamento da matéria-prima

Um dos primeiros procedimentos para realizar a análise laboratorial da biomassa consiste em promover a secagem da matéria-prima ao ar, seguido de uma moagem de uma pequena quantidade com diâmetros de até 3,0mm. O equipamento utilizado para tal procedimento consiste no moinho de rotor vertical com facas, ver figura 1 que promove o tritramento das amostras ocasionando o aumento da superfície de contato forçando as partículas menores.



Figura1. Moinho de rotor vertical com facas.

6 Caracterização de Biomassa Vegetal

O segundo passo consiste em realizar ensaios para obter a caracterização físico-química e energética da biomassa. Nessas análises são obtidos a granulometria, umidade, densidade a granel, poder calorífico, análise imediata, análise elementar e cinzas.

Os ensaios em cada espécie representam a média de cinco ensaios sequenciais ocorridos sem interrupções relevantes. Os resultados de cada ensaio estão demonstrados a seguir. Os testes seguiram as respectivas normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

6.1 Granulometria

Os resultados são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Granulometria por espécie.

ESPÉCIE	GRANULOMETRIA (mm)
ACÁCIA MIMOSA	4,138
AMENDOEIRA	3,107
FÍCUS	3,231
OITIZEIRO	3,495

Foram peneirados ($2,00 \pm 0,10$) kg de cada uma das quatro biomassas em uma peneira mecânica vibratória BERKEL, utilizando-se as malhas de $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{4}$ polegadas e Mesh 4, 8, 16, 30 e 50 (respectivamente, 12,7, 6,35, 4,76, 2,38, 1,19, 0,595 e 0,297 mm). Os resultados da tabela 2 mostram que, caso não sofram triturações posteriores, as pirólises de algumas espécies terão maior dificuldade na produção dos gases condensáveis, devido à maior granulometria de algumas das quatro espécies, principalmente a Acácia e o Oitizeiro. Na pirólise, biomassas de maior granulometria têm um maior tempo de aquecimento de toda partícula, o qual facilita a continuidade das reações químicas em seu interior, diminuindo a produção dos gases condensáveis e acelerando a produção do carvão. Por outro lado, partículas com menor granulometria, como o resultado da Amendoeira por exemplo, oferecem menor resistência ao escape dos gases, os quais são extraídos com maior rapidez, evitando-se as reações subsequentes, aumentando a parcela de gases e diminuindo a quantidade de carvão. Como conclusão da análise da granulometria, será necessário para três das quatro espécies, uma outra etapa de trituração, visando trazer sua esfericidade para próximo de 3 mm. Esse procedimento não é totalmente inviável considerando que o uso de trituradores já uma prática constante nos processos de poda em Recife. Se faz necessário

a mudança das facas nos trituradores existentes e talvez o uso de peneiras pós-trituração.

6.2 Umidade (% MASSA)

A umidade é uma característica intrínseca da biomassa vegetal. Devido à sua natureza higroscópica, decorrentes de sua composição química, a madeira é capaz de absorver ou liberar água para o meio ambiente. Além disso, a umidade afeta diretamente o PCS da biomassa vegetal, diminuindo sua capacidade energética, pois quanto maior a umidade presente na biomassa mais energia se consome para evaporar a água presente. Ou seja, o PCS da biomassa vegetal é inversamente proporcional a sua umidade no momento da queima. Partículas adequadas para pirólise devem ter em torno de 10 % em peso de umidade. Analisando os resultados da tabela 3, verifica-se que das quatro espécies pesquisadas, somente a Amendoeira tem um percentual adequado ao uso em pirólise de leito fluidizado sendo nas demais necessária uma secagem anterior à colocação da biomassa no silo do Pirolisador.

Tabela 3. Teor de umidade por espécie.

ESPÉCIE	UMIDADE (% em massa)
ACÁCIA MIMOSA	$23,240 \pm 0,107$
AMENDOEIRA	$11,140 \pm 0,268$
FÍCUS	$14,098 \pm 0,166$
OITIZEIRO	$15,348 \pm 0,131$

6.3 Densidade a Granel

Os resultados são exibidos na Tabela 4.

Tabela 4. Densidade a granel por espécie.

ESPÉCIE	DENSIDADE (kg m ⁻³)
ACÁCIA MIMOSA	$188,657 \pm 2,439$
AMENDOEIRA	$308,809 \pm 2,379$
FÍCUS	$375,269 \pm 5,641$
OITIZEIRO	$362,106 \pm 2,828$

Em reatores de leito fluidizado a taxa de alimentação da biomassa no reator deve ser calculada para cada espécie vegetal, já que na formação do leito fluidizado a densidade da biomassa vegetal é um fator importante para o sucesso da pirólise. Outro fator importante afetado pela densidade refere-se à transferência de calor do material inerte para a biomassa vegetal. Em reatores de leito fluidizado, para que haja uma boa homogeneização da temperatura do leito e uma rápida transferência de calor do material inerte para a biomassa, deve haver o contato físico entre as partículas de biomassa e inerte. Isso só se consegue com uma D_b aproximadamente igual à D_i , onde D_b é a densidade da biomassa e D_i a densidade do inerte. Valores muito diferentes entre D_b e D_i ocasionam o fenômeno da segregação, o qual traz efeitos indesejáveis à pirólise, como por exemplo a formação de mais carvão e menos gás. O que se observa da tabela 4 é que para duas das quatro espécies estudadas pode utilizar uma mesma taxa de alimentação da biomassa e um mesmo inerte, já que elas se apresentam com D_b muito próximas. Isso é importante se considerarmos o ganho de tempo nos ajustes do Pirólisor e na execução da pirólise.

6.4 Poder Calorífico Superior e Inferior

Medir o poder calorífico de uma amostra consiste em determinar a quantidade de calorias liberadas na combustão completa de uma unidade de massa com isso obter o PCS (poder calorífico superior) e o PCI (poder calorífico inferior).

Quanto maior o PCI de uma biomassa vegetal, melhor sua capacidade de gerar energia. Observa-se na análise da Tabela 5 que a Amendoieira apresenta seu PCI com valores superiores às demais espécies analisadas, sendo um importante parâmetro quando se optar pela sequência de ensaios de pirólise para produção de produtos energéticos. Comparando o resultado da tabela 5 com a frequência das espécies encontradas em Recife, a Amendoieira aparece também como a espécie de maior quantidade de indivíduos 16 % encontradas.

ESPÉCIE	PCS (MJ/kg)	PCI (MJ/kg)
ACÁCIA MIMOSA	17,997 ± 0,069	17,762 ± 0,074
AMENDOEIRA	18,527 ± 0,093	18,364 ± 0,091
FÍCUS	15,047 ± 0,058	14,845 ± 0,059
OUTIZEIRO	16,891 ± 0,140	16,669 ± 0,182

“A bomba calorimétrica é um equipamento frequentemente utilizado para a determinação do poder calorífico de combustíveis sólidos e líquidos. Uma determinada quantidade do combustível é fechada dentro de um recipiente de metal, que posteriormente, sofre uma injeção de oxigênio para atingir a pressão requerida pelo equipamento de teste. Para o Calorímetro IKA C-2000 está pressão é de 30 bar. A bomba é então mergulhada em um

recipiente com parede dupla contendo água em seu interior. A temperatura da água é medida em função do tempo antes, durante e depois do processo de ignição e conhecendo-se a massa de água do sistema, massa e calor específico do recipiente e as curvas de aquecimento e resfriamento da água; a energia liberada durante o processo de combustão pode ser determinada. Um agitador assegura a uniformidade da temperatura da água ao redor da bomba. Para obtenção do PCI são necessárias titulações cujos resultados devem ser digitados na tela do calorímetro para cálculo do PCI (procedimento do fabricante). Ver figura 2 e 3.



Figura 2. Calorímetro Digital.

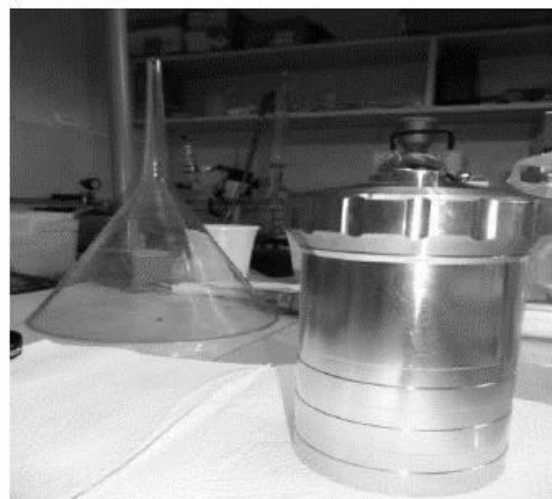


Figura 3. Bomba calorimétrica.

6.5 Análise Imediata (%MASSA)

O resultado da análise imediata para as quatro espécies mostrado na tabela 6 torna evidente a preocupação ao fazer

a pirólise da espécie Ficus, devido ao elevado teor de cinzas produzido. Espécies com maior quantidade de frações voláteis fornecem melhor desempenho na pirólise [7]. Isso porque a fração volátil da espécie vegetal é a única que participa dos processos de pirólise conforme o esquema representado na figura 4. A fração volátil da biomassa se decompõe através de duas reações paralelas em gases e alcatrão (reações R1 e R2 da figura 4). O alcatrão se decompõe em gases e carbono fixo (reações R3 e R4 da figura 4).

Tabela 6. Composição Imediata por espécie

ESPÉCIE	CF	V	A
ACÁCIA MIMOSA	16,790 ± 0,895	82,740 ± 1,120	1,435 ± 0,652
AMENDOEIRA	17,920 ± 0,735	80,950 ± 1,352	1,275 ± 0,458
FÍCUS	11,970 ± 0,655	81,340 ± 2,543	7,540 ± 2,564
OITIZEIRO	14,650 ± 0,965	82,250 ± 1,856	3,630 ± 0,952



Figura 4. Principais componentes e reação química da biomassa

6.6 Análise Elementar (%MASSA)

Biomassas com maior teor de carbono e hidrogênio tendem a ser potencialmente mais energéticas do que as que possuem maior teor de oxigênio. O resultado da análise elementar das quatro espécies selecionadas apresentados na Tabela 7 mostra um melhor desempenho energético para a Amendoeira, o que reforça a tese dessa espécie ser aquela de melhor aproveitamento energético.

Tabela 7. Composição Elementar por espécie

ESPÉCIE	C(%)	H(%)	O(%)	N(%)	S(%)
ACÁCIA MIMOSA	41,548 ± 0,357	6,795 ± 0,088	50,413 ± 0,322	0,864 ± 0,044	0,380 ± 0,010
AMENDOEIRA	47,535 ± 0,297	6,895 ± 0,037	44,422 ± 0,306	0,754 ± 0,030	0,395 ± 0,006
FÍCUS	44,875 ± 0,431	6,867 ± 0,129	46,996 ± 0,497	0,897 ± 0,006	0,365 ± 0,011
OITIZEIRO	43,965 ± 0,557	6,655 ± 0,058	48,200 ± 0,512	0,825 ± 0,016	0,355 ± 0,015

6.7 Cinzas (%MASSA)

Biomassa com maior teor de cinzas tem desempenho mais baixo nos processos de pirólise. Parte da energia térmica atua nas cinzas que devido seu teor inorgânico não produz nenhum componente energético, sendo considerado uma energia perdida.

Dentre as quatro espécies selecionadas, notadamente os resultados mostrados na tabela 8, a Acácia e a Amendoeira são as que possuem menores percentuais, que indica que estas são as que apresentam um melhor aproveitamento energético. A espécie Ficus deve ser reavaliada na sua forma de coleta e preparo antes de iniciar a pirólise.

Tabela 8. Teor de cinzas por espécie.

ESPÉCIE	% CINZAS
ACÁCIA MIMOSA	1,542 ± 0,066
AMENDOEIRA	1,392 ± 0,025
FÍCUS	7,783 ± 0,341
OITIZEIRO	3,920 ± 0,090

7 Variáveis do Pirolisador

Desde a chegada do Pirolisador na UPE foram feitas diversas partidas do equipamento e em nenhuma delas ocorreu funcionamento em regime estável. Parte da explicação para essa dificuldade se refere à quantidade de variáveis envolvidas no processo de pirólise rápida. Se forem feitas as análises aprofundada nas variáveis que influenciam o processo de pirólise nos reatores de leito fluidizado, pode-se identificar e separar essas variáveis como sendo dependentes e independentes [8].

Variáveis dependentes na pirólise rápida em reator de leito fluidizado:

Variáveis de processo:

- 1- Distribuição de temperatura ao longo do reator;
- 2- Tempo de residência das partículas sólidas no reator;
- 3- Composição dos gases na saída do reator.

Variáveis de processo:

- 1- Distribuição de temperatura ao longo do reator;
- 2- Tempo de residência das partículas sólidas no reator;
- 3- Composição dos gases na saída do reator.

Variáveis de qualidade:

- 1- Rendimento de carvão, bio-óleo e gás;

- 2- Características do subproduto da pirólise rápida (carvão, bio-óleo, gás e cinzas)

Variáveis independentes na pirólise rápida em reator de leito fluidizado:

Variáveis relacionadas com a biomassa:

- 1- Diâmetro equivalente médio das partículas de biomassa (Diâmetro de Sauter);
- 2- Densidade real e aparente; 3- Umidade; 4-Tipo de biomassa (amendoeira, acácia mimosa, Ficus e oitizeiro).

Variáveis relacionadas com o material inerte do leito:

- 1- Diâmetro equivalente médio das partículas. (Diâmetro de Sauter)
- 2- Densidade aparente do leito de material inerte.
- 3- Tipo de material inerte.

Altura estática do material inerte do Leito:

- 1- Concentração de material inerte no leito

Variáveis relacionadas com o fluxo de entrada:

- 1- Vazão mássica de biomassa alimentada;
- 2- Vazão mássica de ar suprido ao reator;
- 3- Temperatura do ar na entrada do soprador.

7.1 Ensaios Exploratórios de Pirólise

O grupo de trabalho que desenvolveu os testes exploratórios na planta piloto de pirólise rápida em leito fluidizado na UPE identificou, ao longo dos meses de tentativa de partida dos equipamentos, diversas dificuldades (algumas superadas) que impediram o funcionamento de forma estável. Todas as possíveis variáveis dependentes e a maioria das independentes que poderiam afetar o desempenho do equipamento foram estudadas. A Figura 5 mostra uma vista geral do pirolisador durante o primeiro teste. Nesta oportunidade foi utilizado Argônio como gás inerte na entrada do soprador. A tabela 9 representa em ordem cronológica os principais problemas levantados nos testes exploratórios, suas causas e, em alguns casos, as soluções encontradas.



Figura 5. Pirolisador em período de teste.

Tabela 9. Dificuldades, causas e soluções nos ensaios exploratórios no Pirolisador

Dificuldade	Causa	Soluções
Pouca altura do leito fluidizado	Possível presença de elementos que aumentam perda de carga a montante do soprador.	Retirado elemento filtrante do trecho a montante da sucção.
Pouca altura do leito fluidizado	Idem acima, porém a jusante do soprador.	Substituição da manta do leito fluidizado por tela. Mudança na configuração do plenum.
Pouca altura do leito fluidizado	Problemas com o soprador	Substituição do soprador por outro idêntico.
Inconsistência na vazão da biomassa pela rosca alimentadora.	Gases de pirólise 'queimam' a biomassa dentro da rosca alimentadora.	Trabalhar com biomassa com umidade abaixo de 10%.
Retorno dos gases pelo silo.	Elevada resistência ao escoamento dos gases de pirólise. Possivelmente provocada pela elevada concentração de partículas de inerte.	Diminuir altura do leito do inerte; Diminuir tamanho das partículas de inerte; Diminuição da folga entre duto e rosca alimentadora; Vedar a entrada do silo.
Acúmulo de biomassa e carvão no leito do reator.	Tempo elevado de permanência da biomassa dentro do reator	Ajustar a relação agente gaseificante/biomassa ;
Segregação da biomassa com o material inerte	Elevadas relações entre os diâmetros médios (D) e densidades (d) da biomassa (b) e do material inerte (m);	Trabalhar com a relação $D_b / D_m = 1$ e com a menor relação possível entre d_b / d_m .
Temperatura baixa no plenum	Configuração inadequada da entrada do plenum. Baixa eficiência da resistência elétrica.	Substituição da fonte de energia térmica elétrica por GLP; Retroalimentar plenum com os gases da queima do GLP.
Baixa eficiência no quencher	Quantidades e posicionamento inadequado dos orifícios de aspersão.	Nova configuração dos orifícios. Troca por aspersores (pendente).

A primeira tentativa de gerar produtos de pirólise foi realizada utilizando como matéria prima serragem adquirida de marcenaria existente na região próxima à POLIUE (Universidade Politécnica de Pernambuco). Os procedimentos adotados foram os descritos no documento do fornecedor do pirolisador. No primeiro teste, a rotação da rosca alimentadora, comandada pelo inversor de frequência foi ajustada para garantir uma vazão de serragem mínima, em torno de 0,95kg/h. Mesmo tendo sido adotados

todos os procedimentos sugeridos no documento do fornecedor, a primeira rodada de testes produziu resultado totalmente insatisfatório. Durante o funcionamento foi constatada apenas a produção de vapor d'água e alguns poucos traços de óleo em partes frias do quencher. Diante desse insucesso a equipe de testes resolveu desmontar o reator para observar o seu interior e entender melhor o funcionamento do mesmo. Após a retirada do reator, foi constatada a completa ausência de material inerte (areia), componente indispensável para a formação do leito fluidizado. Sem este material, a troca de calor necessária à pirólise/gaseificação é bastante prejudicada, impossibilitando a produção dos gases. A Figura 6 mostra a região do prato distribuidor após retirada do reator com biomassa seca e sem material inerte.



Figura 6. Região do prato de distribuição – zona de pirólise.

Presença de carvão no leito indica possível deficiência na fluidização da biomassa. A ausência da areia pode representar aumento da velocidade que fez o inerte sair para os ciclones. Entretanto, além de não se encontrar sólidos nos ciclones, a presença de finos de carvão presos ao leito figura 7 nos leva a crer na existência de arraste dos elementos do leito.



Figura 7. Base do reator. Lado esquerdo: após a primeira retirada do corpo do reator.

Numa nova etapa de ensaio exploratório, a equipe de testes resolveu avaliar de modo mais preciso a vazão do soprador e possíveis restrições tanto na sucção quanto na tubulação de descarga do mesmo. Para isso foi utilizado o método de medição da vazão através do uso de placa de orifício. Após a verificação da altura da coluna de líquido manométrico (820 mm), utilizando o procedimento de cálculo a altura manométrica correspondeu a uma vazão de $0,181 \text{ m}^3/\text{min}$, o que corresponde a 14% da vazão anunciada na placa do soprador, mesmo com a admissão de ar externo em posição totalmente aberto [9]. Em seguida foi verificada possível perda de ar nas conexões, incluindo entrada e saída do soprador. Não se verificou a presença de vazamentos relevantes que justificassem a baixa vazão apresentada. Além do reaperto em todo sistema, a equipe de testes efetuou a diminuição da espessura da camada de lã de rocha que fica localizado entre os dois discos metálicos com furos para a passagem do gás fluidizante. A Figura 8 mostra a camada de lã de rocha antes da substituição.

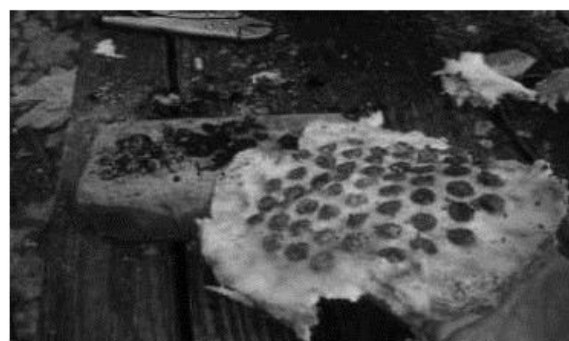


Figura 8. Manta retentora com finos de carvão.

Em seguida foi avaliado o desempenho da rosca alimentadora. Foi utilizado um bequer de 2 litros para coletar a biomassa expelida pela rosca alimentadora em intervalos de tempo de 5 minutos. A rotação da rosca foi modificada alterando o potenciômetro de comando do inversor de frequência. A Tabela 10 mostra os resultados obtidos neste experimento. A Figura 9 mostra a coleta de biomassa.



Figura 9. Coleta de biomassa para medição de vazão mássica.

Tabela 10. Vazão da rosca alimentadora.

Inversor	Tempo	Massa (g)
10%	5 min	28
		32
		85
20%	5 min	148
		112
30%	5 min	227
		77

Pela análise da tabela 10, constata-se um funcionamento totalmente irregular da rosca alimentadora. Os valores grafados em vermelho mostram resultados totalmente fora do esperado. Durante a medição da vazão, houve intervalos de tempo em que nenhuma biomassa era expulsa da rosca o que justifica os valores bem menores.

Fica desta forma, evidente a baixa credibilidade no funcionamento deste componente, o que sugere a necessidade de uma análise mais detalhada da construção e do funcionamento da rosca alimentadora.

Em função da constatação da baixa vazão de ar na entrada do pleno do reator, a equipe de testes resolveu desmontar novamente o equipamento para verificações de possíveis restrições ao escoamento. Ao desmontar a tubulação de recalque do soprador, além da válvula de restrição, registro globo, reduções e expansões bruscas que podem ser visualizadas externamente, foi constatada a presença de muito material metálico inserido na tubulação com o objetivo de melhorar a troca de calor com o ar, aquecendo-o antes de entrar no pleno. A figura 10 mostra o material metálico inserido na tubulação. Também foram realizados procedimentos para detectar possíveis vazamentos de ar ao longo da tubulação. Com o soprador em funcionamento, as juntas e pontos críticos foram observados utilizando-se o tradicional método da espuma de água e sabão e não foram descobertos vazamentos na linha.

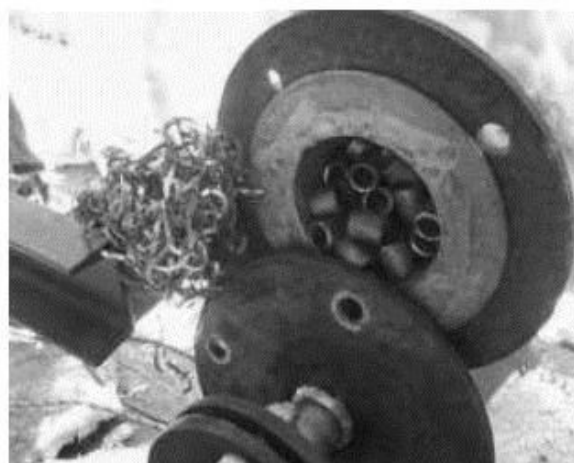


Figura 10. Metal inserido na tubulação.



Figura 11. Alcatrão presente na tubulação.



Figura 12. Filtro saturado com alcatrão.



Figura 13. Alcatrão na entrada do filtro trap.

Diante da observação desses fatores negativos e buscando sua solução, foram realizadas as modificações mostradas na figura 14, para otimização do projeto:

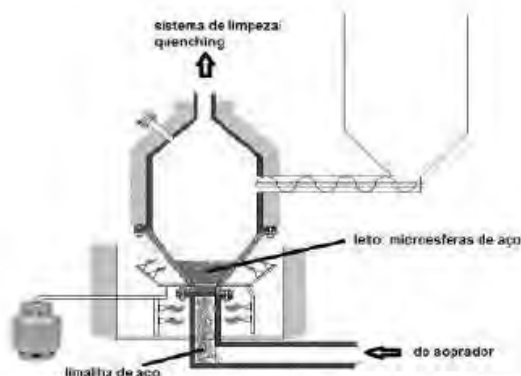


Figura 14. Sugestões de alteração no plenum.

1. Substituição do aquecimento elétrico por sistema de aquecimento a gás simulando a utilização do próprio gás gerado pelo pirolisador. O controle da temperatura no leito foi realizado medindo-se com termopar e variando a vazão do gás de alimentação.
2. Mudança na forma e dimensões e material do plenum do reator. Conforme se pode observar na figura 15, na atual configuração, a distância entre a saída da rosca alimentadora e a grelha que suporta o leito é muito pequena. Entende-se que uma altura maior irá proporcionar uma melhor mistura da biomassa com o material inerte do leito. Além disso, note-se que a grelha que suporta o leito tem uma malha de grande diâmetro. Desta forma a grelha foi substituída por uma tela colocada na junção da tubulação com a base do reator.
3. Mudança nos trechos a montante e a jusante do soprador. Observando-se a tubulação a jusante do soprador constata-se a existência de uma válvula de retenção, um cotovelo de 90 graus, uma válvula gaveta, o medidor de vazão de placa de orifício, outro cotovelo de 90 graus e uma expansão brusca, até chegar ao coletor que suporta a grelha e o corpo do reator, mostrado na figura 18, onde também se pode ver na extrema esquerda da foto o medidor de vazão com as conexões das mangueiras do manômetro de mercúrio. Foi suprimida a válvula de retenção, por ser desnecessária, e suprimiu-se também a expansão brusca, mantendo-se a tubulação com o mesmo diâmetro desde a saída do soprador até a chegada

à grelha. Estas mudanças permitiram uma menor perda de carga e mais velocidade ao atravessar os furos da grelha, permitindo maior fluidização no leito. A figura 16 mostra as mudanças nas tubulações. Ademais, a mudança da forma geométrica da base do corpo do reator, que passou da forma cilíndrica para a forma cônica, conforme mostrado nas figuras 15. A nova forma cônica proposta facilitaria a mistura da biomassa com o material inerte, que por ter mais densidade proporcionaria maior contato (abrasão) proporcionando maior troca de calor. E as mudanças na entra e saída dos gases que também podem ser observadas nas figuras 17 e 18.

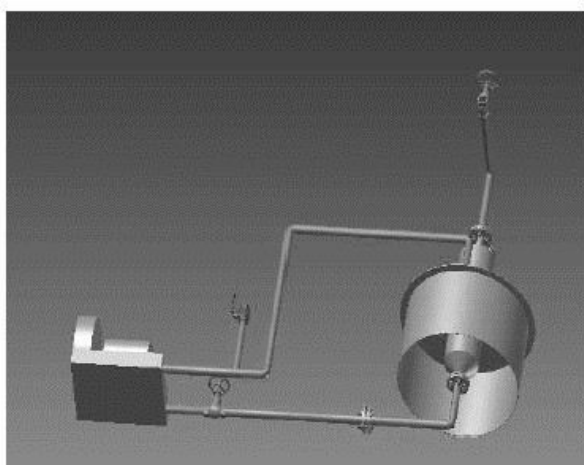


Figura 15. Modificações entrada e saída gases

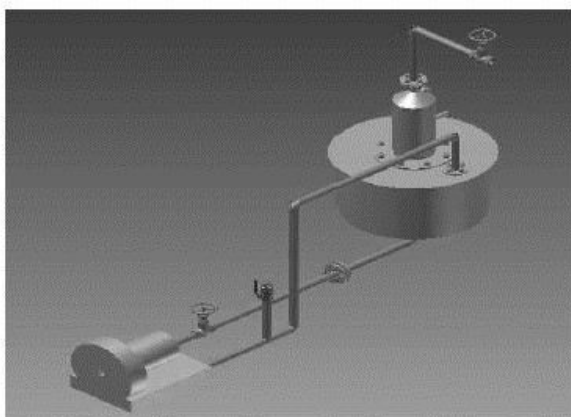


Figura 16. Modificações na entrada e saída de gases

Os resultados obtidos nos ensaios exploratórios possibilitaram e continuam possibilitando um maior conhecimento dos fenômenos que ocorrem na pirólise rápida de biomassa vegetal lenhosa, bem como estabelecer níveis adequados para as variáveis independentes.



Figura 17. Tubulações antigas a montante e a jusante do soprador.



Figura 18. Nova configuração e tubulações a montante e a jusante

8 Resultados Obtidos

Os resultados das análises em laboratório demonstraram que, de forma geral, todas as quatro espécies selecionadas atendem aos critérios prévios para pirólise. Entretanto devem-se observar preparos prévios nos processos de secagem e trituração de algumas espécies. As tabelas representam os resultados comparativos entre as quatro espécies e demonstra o potencial energético presente nessas biomassas vegetais.

Com as modificações realizadas no aquecimento inicial com GLP, configuração do plenum, modificação da entrada dos gases no plenum, substituição do prato distribuidor, altura do leito, retirada de algumas válvulas e

acessórios e reposicionamento do soprador, ainda não foi alcançado o funcionamento estável do equipamento. Em recente tentativa observou-se um início de queima do gás, porém em quantidade insuficiente para manutenção da chama. Momentos após esta constatação, foram coletadas amostras do gás produzido, que foram analisadas no Cromatógrafo onde não foi constatado presença de gases inflamáveis. Novos procedimentos estão sendo realizados, incluindo a desmontagem da rosca alimentadora para eliminar a falta de confiabilidade neste componente, visando garantir uma alimentação estável de biomassa em busca da produção de gás de pirólise, visto que já foi alcançada no leito fluidizado a temperatura de 550°C.

9 Conclusão

O projeto de iniciação “Utilização de diversos tipos de biomassa em pirolisador multicompostíveis” visa proporcionar o entendimento de uma tecnologia que vem se tornando destaque, pois é vista como uma das formas para a geração de energia elétrica, utilizando diferentes tipos de matéria-prima, com maior perspectiva para o futuro.

Essa pesquisa é de grande importância para o desenvolvimento acadêmico do estudante, pois proporciona um interesse com pela pesquisa científica através de levantamento bibliográfico sobre a pirólise de biomassa por meio de teses de doutorado, livros e seminários vinculados ao tema. Além de colocar em contato com pessoas, que entendem e compartilham sobre o assunto e que possuem capacidade técnicas para treinar o estudante na utilização dos equipamentos do laboratório de combustíveis (POLICOM-UPE) com a finalidade de executar os ensaios necessários para a caracterização da biomassa.

Contudo, o projeto sobre a pirólise de biomassa ainda está em andamento. O assunto abordado no projeto é de grande valor social, pois a biomassa é considerada o combustível com grande potencialidade no setor elétrico para o futuro.

Referências

- [1] A. V. Bridgwater, “Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass”, Chemical Engineering Journal, 2003, v.91, pp.87-102.
- [2] M.F. DEMIRBAS, T. M. BALAT, H. BALAT, “Potential contribution of biomass to the sustainable energy development”, Energy Conversion and Management, vol. 50, 2009, pp 1746-1760.
- [3] BRIDGWATER, A, “Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass”, Chemical Engineering Journal, 2003, pp. 87–102.
- [4] IEA - www.iea.org/topics/bioenergy/. acessado em 15/05/2014 as 19:00hs.
- [5] Cortez, L.A.B., Lora, E.E.S., Lora, Gómez E.O. BIOMASSA para energia, UNICAMP, 2008.
- [6] A.Demirbas, “A produção de biodiesel a partir de óleos vegetais com metanol supercrítico catalítico e não catalítico métodos de cátions” Selcuk University, 2005.
- [7] S.M. L. Souza, "Modelling and Simulation of Fluidized-Bed Boilers and Gasifiers for Carbonaceous Solids", Tese de doutorado (Ph.D.) apresentada à University of Sheffield, Department of Chemical Engineering and Fuel Technology, 1987.
- [8] J.M.Perez, L.A.Cortez, E.O.Gómes, J.D.Rocha, L. E.González, J.R.Nunhes, “Tecnologia de leito fluidizado para pirólise rápida de biomassa vegetal”, Analytica, 2010, pp. 32-36.
- [9] Brunetti, F, mecânica dos Fluidos, Apillada, 2008.

Medição de perda e produtividade de argamassa industrializada no serviço de revestimento de fachada

Industrialized mortar loss and productivity in the façade cladding

Caetano, A. S.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
alissoncaetanodasilva@hotmail.com

Lordsleem Jr, A. C.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
acasado@poli.br

Resumo

A medição do desempenho da execução do revestimento de argamassa de fachada deve merecer especial atenção na construção de edifícios, pois representa parcela expressiva do custo total e condiciona o prazo da obra. Dentro desse contexto, este artigo tem como principal objetivo apresentar os resultados do monitoramento do desperdício de argamassa industrializada e a produtividade da mão de obra na execução do revestimento de argamassa de fachadas de edifícios.

Palavras-Chave: *Desperdício, produtividade, argamassa, fachada, construção civil*

Abstract

Performance measurement of the façade mortar coating should deserve special attention in building construction, as it represents a significant portion of the building total cost and productivity. Within this context, this research has as main objective to monitor the mortar loss and labor productivity in the execution of building facades.

Keywords: *Loss, productivity, mortar, façade, civil construction*

Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada

Volume 2 – Número 1 – Outubro 2016

TRABALHOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – 2014-2015

- Medição de perda e produtividade de argamassa industrializada no serviço de revestimento de fachada**
Allison Caetano – A.C. Lordsleem **547**
- Solução da equação diferencial da Gompertz na análise de crescimento de tumores malignos da próstata**
Gentil Filho – Newton Adrião de Aguiar Neto
Cleomacio Miguel da Silva **551**
- Determinação de chumbo e cádmio em açúcar comercializado na cidade de Recife**
Jose Arruda – Durval Augusto Lira Queiroz dos Santos
José Reginaldo de Arruda Cavalcanti – Hitaldo Tavares de Araujo
Cleomácio Miguel da Silva **556**
- Determinação de ^{238}U , ^{228}Ra , ^{226}Ra , e ^{40}K em açúcar comercializado na cidade do Recife**
Jose Arruda – Durval Augusto Lira Queiroz dos Santos
José Reginaldo de Arruda Cavalcanti – Hitaldo Tavares de Araujo
Cleomácio Miguel da Silva **561**
- Sintonia de Controlador PID baseado em Busca por Cardumes**
Janderson Freitas – Carmelo Bastos Filho – Roberto Dias Filho
Luiz Felipe Verçosa – V.P. Eril **567**
- Integração do Mecanismo de Síntese de Fala MaryTTS ao Avatar Educação**
Fabio Holanda – Danilo de Souza Barbosa
Alexandre Magno Maciel **573**
- Extração de características e classificação de assinaturas manuscritas**
Danilo Simplicio – Byron Leite Dantas Bezerra **580**

Reconstrução 3D baseada em estereoscopia com a utilização de detectores de características	587
<i>Jonas Cordeiro – Bruno Torres Fernandes</i>	
Reconhecimento de Veículos em ambientes externos através do processamento de imagens	593
<i>Rebeca Sarai</i>	
Projeto e Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento dos Níveis de Pressão Sonora	598
<i>Gabriel Cysneiros</i>	
Sistema De Medição De Energia E Monitoria Da Qualidade Da Rede Elétrica	603
<i>Hugo Leonardo – J.P.G Oliveira</i>	
Análise de transferência de calor em um reator trifásico de leito fixo com aplicação da transformada de Laplace	608
<i>Evanderson Heleno – Antonio Carlos Lins Cavalcanti</i>	
<i>Jornandes Dias da Silva</i>	
Fabricação de Modelos Anatômicos Usando Prototipagem Rápida	613
<i>Joabe Souza – Luis Arturo Gomez Malagon</i>	

construção civil. 250 p. Dissertação (Mestrado) -
Universidade de Pernambuco. Recife, 2011.

Solução da equação diferencial da Gompertz na análise de crescimento de tumores malignos da próstata

Solution of Gompertz's Differential Equation in the analysis of the growth malignant prostate tumors

Gentil Fideles Cavalcanti Filho
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
gentilfideles.cavalcantifilho@yahoo.com.br

Newton Adrião de Aguiar Neto
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
newton_go@hotmail.com

Cleomacio Miguel da Silva
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
cleomacio@hotmail.com

Resumo

Objetivos: este artigo apresenta a solução da Equação de Gompertz com ênfase no crescimento de tumores malignos de próstata utilizando artifícios matemáticos e pesquisas literárias para a determinação dos coeficientes do modelo que melhor se encaixam para as características desse tipo de tumor. **Metodologia:** foi desenvolvida a solução da Equação de Gompertz e analisada a dependência dessa com cada parâmetro que a compõe, tendo como objetivo, a verificação de qual desses melhor influenciaria nas características do crescimento tumoral de próstata. Com isso, a partir de pesquisas literárias, foi possível determinar cada componente da Equação, chegando ao modelo simplificado do crescimento do tumor da próstata. **Resultados:** a partir do modelo encontrado, foi possível verificar que o câncer de próstata possui um desenvolvimento lento durante o seu período de desenvolvimento inicial, cerca de 10 anos, sendo praticamente despercebido pelos diagnósticos existentes, porém, após esse tempo, seu desenvolvimento é rápido e consequentemente agressivo, aumentando assim as chances de metástase e complicações na saúde do portador da doença. **Conclusão:** com este trabalho, foi possível concluir que há uma necessidade do desenvolvimento de novas técnicas para o diagnóstico do câncer de próstata, pois como essa é uma das doenças que mais mata homens por todo o mundo, é grande a importância de prevenir um estado avançado dessa doença.

Palavras-Chave: *Gompertz, Runge-Kutta, Câncer, Próstata*

Abstract

Objectives: This paper presents the solution of the Gompertz equation with emphasis on the growth of malignant prostate tumors using mathematical tricks and literary research to determine the model coefficients that best fit to the characteristics of this type of tumor. **Methodology:** was developed solution Gompertz equation and analyzed the dependence that with each parameter within the film, aiming to check which of these best influence the characteristics of tumor growth of prostate. Thus, from literary research, it determined each component of the equation, reaching the simplified model of prostate tumor growth. **Results:** from the found model, we found that prostate cancer has a slow development during its initial development period, about 10 years, virtually unnoticed by the diagnostic, but after that time, its development is fast and therefore aggressive, thus increasing the chances of metastasis and complications in healthy carrier of the disease. **Conclusion:** With this work, we concluded that there is a need to develop new techniques for the diagnosis of prostate cancer, for as this is a disease that kills more men around the world, there is a great importance of preventing a state this advanced disease.

Keywords: *Gompertz, Runge-Kutta, Cancer, Prostate*

1 Introdução

Com o desenvolvimento de tecnologias, a qualidade de vida das pessoas melhorou e, entre esses aspectos, está também a saúde em geral, pois com a tecnologia, tornou-se possível diagnósticos mais precisos e métodos de tratamentos mais eficazes para várias doenças.

Quando se trata de saúde, uma grande preocupação e assunto para diversos estudos ao redor do mundo é o câncer, que é uma doença caracterizada por uma população de células que cresce e se divide sem respeitar os limites normais, invade e destrói tecidos adjacentes, e pode se espalhar para lugares distantes do corpo, através de um processo chamado metástase.

Câncer é o nome dado a um conjunto de mais de 100 doenças que têm em comum o crescimento desordenado de células, que invadem tecidos e órgãos. Dividindo-se rapidamente, estas células tendem a ser muito agressivas e incontroláveis, determinando a formação de tumores malignos, que podem espalhar-se para outras regiões do corpo [1].

Uma das características malignas de um câncer é sua capacidade de produzir a metástase pois, assim, células cancerígenas se espalham pelo organismo, geram novos tumores no corpo do paciente e, por consequência, a localização de cada um deles se torna uma tarefa difícil e a erradicação cirúrgica pouco eficiente. De fato, metástases são a causa de 90% das mortes causadas por câncer em humanos [2].

São diversos os tratamentos que a medicina emprega para combater tumores. Eles podem ser físicos, como as radiações, que destroem as células tumorais (particularmente sensíveis às emissões radioativas); cirúrgicos, com que se previne a invasão de outras estruturas, no caso dos tumores malignos; ou quimioterápicos, entre os quais está a administração de substâncias inibidoras da divisão celular (antimitóticos) [3].

Para auxiliar estes tratamentos e também entender melhor o comportamento do desenvolvimento tumoral, faz-se necessário ter uma noção de como um determinado tumor realiza o seu crescimento, para isso, diversas pesquisas tentam simular esse crescimento através de vários modelos matemáticos para fins de utilizar as informações retiradas destes como mais um artifício, tanto para diagnósticos mais recentes, quanto para selecionar em qual estado de desenvolvimento o presente tumor se apresenta, entre outros fatores.

1.1 Objetivos

Este artigo tem como objetivo apresentar ao leitor uma forma de analisar o crescimento tumoral do câncer de próstata a partir do modelo da Equação diferencial de Gompertz, mostrando também, os passos adotados para a obtenção de todos os parâmetros que compõem esta equação.

2 Desenvolvimento

Em 1825, Gompertz desenvolveu seu modelo para o crescimento populacional de uma determinada espécie qualquer, no qual, mostrou-se bastante eficaz quando comparado com os dados reais do crescimento de uma determinada população. Hoje, seu modelo é bastante utilizado em diversas áreas, em especial, no estudo da análise do crescimento de células tumorais.

De acordo com [4] e utilizando as modificações relacionadas à notação dos parâmetros utilizada por [5] a fim de já introduzir a utilização da Equação de Gompertz para o estudo de um crescimento tumoral, a Equação de Gompertz é descrita de acordo com a Equação 1 logo abaixo.

$$\frac{dN(t)}{dt} = rN(t) \ln\left(\frac{k}{N(t)}\right) \quad (1)$$

- $N(t)$, é a população tumoral de células em um determinado instante t .
- r , é a constante de crescimento intrínseco das células, com $r > 0$.
- k , é a capacidade de carga do tumor, ou seja, é o tamanho máximo que o mesmo pode atingir com os nutrientes disponíveis [6]. Aqui, seu valor será tratado como sendo uma constante.

A solução da Equação 1 é dada pela Equação 2, como segue:

$$N(t) = ke^{\ln(N_0/k)e^{-rt}} \quad (2)$$

A Equação 2 representa a quantidade de células tumorais em um instante t .

Portanto, N_0 a quantidade de células tumorais no instante $t = 0$.

Para se obter o valor das constantes da Equação 2 com o objetivo de que esta simule o crescimento tumoral de um câncer de próstata, é necessário que se conheça algumas das características deste tipo de câncer e também do câncer

em geral para a constante r , e supor algumas considerações para k e N_0 .

Apesar da capacidade de carga, k , de um tumor ser intimamente relacionada à quantidade de células tumorais, $N(t)$, no instante t , consideraremos que um tumor possui um limite para a quantidade de células que não pode ser ultrapassado e que esse valor é da ordem de 1013 células [7]. Assumindo, portanto, $k = 1013$ células tumorais.

Para a análise do crescimento tumoral de um câncer de próstata, será suposto, assim como foi feito em [8], que o desenvolvimento do tumor é realizado a partir da primeira célula cancerígena presente na próstata, assim, $N_0 = 1$ célula tumoral.

Os sintomas de um câncer de próstata são eventos tardios e, geralmente, ocorrem quando a doença avançou localmente ou produziu metástase. Destacam-se a re-tenção urinária e hematúria [9].

Alguns desses tumores podem crescer de forma rápida, espalhando-se para outros órgãos e podendo levar à morte. A grande maioria, porém, cresce de forma tão lenta (leva cerca de 15 anos para atingir 1 cm^3) que não chega a dar sinais durante a vida e nem a ameaçar a saúde do homem [1].

Um tumor que possui 1 cm^3 pesa em torno de 1 g e representa cerca de 10^9 células [10]. Supondo que o tumor desenvolve-se a partir de uma única célula (simulação que será realizada neste artigo), quando alcança 1 cm^3 já completou 30 duplicações celulares. Mais 10 duplicações resultaria numa massa de 1 kg, que é o tamanho considerado fatal que um tumor pode alcançar [8]. Essa relação mostra que é possível considerar que a quantidade de células tumorais por volume e também por massa de tumor se mantém constante.

Partindo dessas informações de tempo de desenvolvimento de uma certa massa tumoral, e da quantidades de células tumorais que esta terá, é possível encontrar o valor da constante r , pois, partindo dessa relação de proporcionalidade, em 15 anos, um tumor terá 10^9 células. Como este dado está sujeito a erros, é possível considerar um intervalo de segurança de dois anos para mais e para menos, assumindo portanto, que entre 13 a 17 anos, o câncer de próstata terá essa quantidade de células tumorais desenvolvidas.

Aplicando essa situação (para $t = 13$ anos, 15 anos e 17 anos), com as constantes antes obtidas (k e N_0) na Equação 2, é possível encontrar um intervalo em que a constante r estará contida nesse problema de contorno.

Para encontrar um único valor de r , uma forma é ponderar os valores do intervalo, dando peso maior ao r correspondente de 15 anos, tirando assim, uma média ponderada, na qual, um resultado possível é $r = 0,0793 / \text{ano}$.

Assim, o modelo do crescimento tumoral do câncer de próstata adotado neste artigo será expresso pela Equação 3.

$$N(t) = 10^{13} e^{-29,934e^{-0,0793t}} \quad (3)$$

Uma das principais características de um câncer é a sua capacidade de desenvolver metástase. Para que o tumor possa gerar a metástase, é necessário que ele tenha um volume maior do que 3 mm^3 e que tenha sanado as suas necessidades de oxigenação e nutrição [3].

Essas duas condições só serão satisfeitas se o tumor desenvolver a capacidade de promover o crescimento de novos vasos sanguíneos na sua direção. Esses novos vasos proporcionarão a irrigação sanguínea do tumor, sanando as necessidades comentadas e, também, servindo como via de acesso para aquelas células cancerígenas que, ao migrarem, podem gerar novos tumores em outras regiões do organismo. Caso essa vascularização não aconteça, as células do tumor entram em degeneração e necrose [11].

Ao processo de formação desses novos vasos sanguíneos denomina-se angiogênese ou neovascularização; termo que foi utilizado pela primeira vez por Hertig em 1935 para descrever a vascularização na placenta [12].

Nos dias de hoje, esse termo é designado para descrever o crescimento de novos vasos sanguíneos a partir de vasos pré-existentes. Esse processo depende da proliferação de células endoteliais, que são células de revestimento dos vasos sanguíneos [13].

Um tumor não pode crescer acima de 10^6 células sem desenvolver angiogênese para suprir sangue para o tumor [3].

3 Resultados

Dependendo de cada tipo de câncer, as características antes citadas no final da seção anterior, irão desenvolver-se em escalas de tempo diferentes, pois cada câncer, em geral, possui sua taxa de crescimento, mesmo quando se possui as mesmas quantidades de células tumorais.

Para o câncer de próstata, essas características irão ocorrer, em média, nos tempos indicados pela tabela 1.

Descrição	Quantidade de células tumorais, $N(t)$	Tempo, t (anos)
Ponto de inflexão	$N(t) = 1 \times 10^{13} / e$	42,862
Ponto de estabilidade	$N(t) \rightarrow k$	Estimado através da visualização gráfica
Tamanho máximo para o desenvolvimento da angiogênese	$N(t) = 1 \times 10^6$	7,806
Ponto mínimo para o desenvolvimento de uma metástase	$N(t) = 3 \times 10^6$	8,697
Massa tumoral de 1 g	$N(t) = 1 \times 10^9$	14,863
Massa tumoral de 1 kg	$N(t) = 1 \times 10^{12}$	32,345

Tabela 1: Representação dos principais pontos do desenvolvimento tumoral.

A representação gráfica da Equação 3 está na Figura 1.

Na Figura 1, é possível perceber que, o ponto de estabilidade do tumor de próstata ($N(t) \rightarrow k$) ocorre por volta de 130 anos, idade muito alta para a estimativa de vida do homem nos dias atuais, mostrando que a estabilidade do câncer de próstata jamais será atingida através dos mecanismos de crescimento naturais (sem a influência de alguma anormalidade).

Na Figura 2, até aproximadamente 10 anos, a população tumoral permanece bastante pequena, no intervalo de 1–107 células tumorais. Essa quantidade de células corresponde a massas desprezíveis, até a ordem dos miligramas respectivamente, só é possível a sua detecção através de microscopia, mostrando que o diagnóstico através do exame do toque retal (palpável), identifica o tumor em um estado já avançado e que este possui uma idade de aproximadamente 15 anos.

Mesmo o tumor tendo uma massa pequena neste intervalo, este, após os valores descritos na Tabela 4, já desenvolveu a angiogênese e há uma probabilidade de ter desenvolvido metástase, apresentando assim, um fator de risco para a saúde do paciente. A metástase originada do câncer de próstata dará início a tumores em novas partes do corpo, na qual, apresentaram diferentes características do tumor de próstata inicial, podendo ter um crescimento mais rápido e agressivo.

Não é necessário que uma metástase localize-se apenas em um local do corpo, podendo ter as suas células migradas distribuídas em diferentes localizações [7].

Alguns estudos mostra que cerca de 80% dos homens de 80 anos, que morreram por outros motivos, tinham câncer de próstata e nem eles nem seus médicos desconfiavam [14]. isto pode ser interpretados devido um início tardio do câncer de próstata pois, se por exemplo, este tivesse começado seu desenvolvimento quando um homem tivesse por volta dos 70 anos de idade, este levaria cerca de 10 anos para apresentar um devido crescimento, como foi comentado anteriormente. Da mesma forma, caso o desenvolvimento tivesse ocorrido por volta dos 40 anos de idade, quando este homem apresentasse 70 anos de idade, o tumor já estaria em um estado avançado tendo um crescimento bastante elevado nos 10 anos finais.

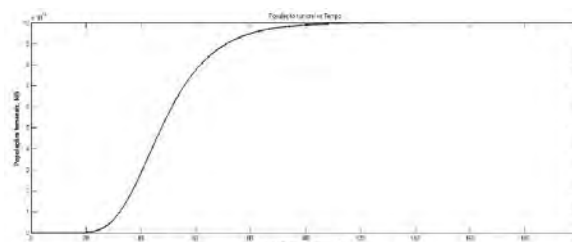


Figura 1: Curva representativa do crescimento tumoral em função do tempo do câncer de próstata

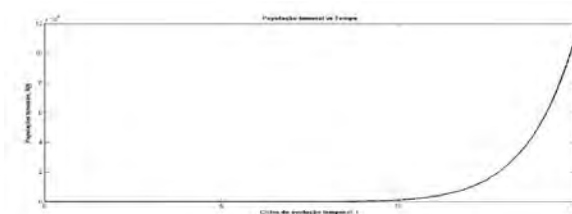


Figura 2: Detalhes dos 15 primeiros anos do desenvolvimento do câncer de próstata

4 Conclusão

O câncer de próstata é uma doença séria e bastante perigosa que, em muitos casos, não recebe a devida atenção e por consequência, é desprezada, apresentando assim, um maior risco para a saúde de um paciente.

O modelo da solução da Equação de Gompertz para a análise do crescimento sólido de um câncer de próstata apresentou características baseadas na literatura e que permitem interpretações realistas deste desenvolvimento.

Foi possível concluir que o câncer de próstata possui um desenvolvimento lento durante o seu período de desenvolvimento inicial (cerca de 10 anos), como essa doença geralmente é dada em pessoas de terceira idade que, muitas vezes, sofrem de outros distúrbios, os efeitos do crescimento do tumor é menosprezado ou até mesmo despercebido. Por outro lado, após uma certa massa tumoral, seu desenvolvimento é rápido e consequentemente

agressivo, aumentando assim as chances de metástase ou até mesmo acarretar outros problemas de saúde.

Esse modelo mostrou também que o exame do toque retal só é capaz de detectar um tumor em um estado já avançado, dificultando assim, o tratamento adequado. Com isso, é importante que a população masculina em geral conheça esta enfermidade, para melhor se adaptar aos exames de diagnósticos e também, começar este processo em uma idade ideal.

O modelo apresentou também a atual ineficiência dos métodos de diagnósticos, pois, como exemplo, o exame do toque retal identificará um tumor com uma idade aproximada de 15 anos, enquanto este apresentaria características para serem detectados pelo exame de PSA (que detecta tumores com microgramas de massa) em torno dos 7 anos, ou seja, o modelo apresenta o fato de que, os métodos de diagnósticos atuais são incapazes de detectar um tumor quando este apresenta uma pequena quantidade de células tumorais, sendo assim, um desafio para a medicina, não só em relação ao câncer de próstata, mas para o câncer como um todo.

Referências

- [1] Instituto Nacional do Câncer (INCA), Disponível em: <http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/inc_a/portal/home>. Acesso em: 01 de julho de 2015.
- [2] S. C. F. Júnior. Modelos de Reação Difusão para o Crescimento de Tumores. Tese de Doutorado, UFMG, Mai 2003.
- [3] M. D. Judah Folkman, Tumor angiogenesis: Therapeutic implications; *The New England Journal of Medicine*. 285:1182-1186, 1971.
- [4] W. E. Boyce, R. C. DiPrima. Equações Diferenciais Elementares e Problemas de Valores de Contorno. LTC, Rio de Janeiro/RJ. 8ª ed. pág. 49.
- [5] J. S. Domingues (2011). Análise do Modelo de Gompertz no crescimento de tumores sólidos e inserção de um fator de tratamento. Bioma-temática IMECC - UNICAMP. MG, Pirapora.
- [6] R. K. Sachs, L. R. Hlatky, e, P. Hahnfeldt (2001). Simple ode models of tumor growth and anti-angiogenic or radiation treatment. *PER-GAMON - Mathematical and Computer Model-ing*, 33:1297-1305.
- [7] Spencer, S. L., Berrymanb, M. J., Garcia, J. A., e Abbott, D. (2004). An ordinary differential equation model for the multistep transformation to cancer. *Journal of Theoretical Biology*, 231:515-524.
- [8] W. R. Fair, W. D Heston, and C. Cordon-Cardo, Campbell's Urology, ch. (75) An overview of cancer biology, pp. 2259-2282, W. B. Saunders Company, 1997.
- [9] D. Seabra, Câncer de próstata - programa educacional, Parte integrante da tese de doutorado, Universidade Federal de São Paulo, UNIFESP-EPM, São Paulo, 2000.
- [10] S. Friberg, S. Mattson, 1997. On the growth rates of human malignant tumors: implications for medical decision making. *J. Surg. Oncol.* 65, 284-297.
- [11] J. S. Domingues. Análise do Modelo de Gompertz no crescimento de tumores sólidos e inserção de um fator de tratamento. Biomatematica IMECC - UNICAMP. Dez 2010.
- [12] M.A.N.D. Ferreira. Avaliação da angiogênese, in_amação e crescimento tumoral em camundongos com deleção gênica dos receptores para o PAF. Tese de doutorado - UFMG, Fev 2006.
- [13] A. Fontelonga. Angiogênese. 2009. Disponível em: <<http://portal.alert-nline.com>>. Acesso em: 10 de julho de 2015.
- [14] A. C. Camargo. *Pacientes e Tudo Sobre o Câncer, Próstata*. Disponível em: < <http://www.accamargo.org.br/tudo-sobre-o-cancer/prostata/32/>>. Acesso em: 05 de julho de 2015.

Determinação de chumbo e cádmio em açúcar comercializado na cidade de Recife

Determination of lead and cadmium in sugar commercialized in Recife city

Rodrigo Santos de Oliveira

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
rs_psx@hotmail.com

Durval Augusto Lira Queiroz dos Santos

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
dalqscin@gmail.com

José Reginaldo de Ar-ruda Cavalcanti

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
josereginaldo.17@hotmail.com

Hitaldo José Tava-res de Araujo

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
hitalojta@gmail.com

Cleomácio Miguel da Silva

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
cleomacio@hotmail.com

Resumo

A fim de proporcionar maior segurança e informação aos consumidores é muito importante a realização de análises de metais pesados nos alimentos consumidos pela população, pois a ingestão de elevadas quantias desses elementos podem provocar diversos problemas de saúde. E disso parte o objetivo do trabalho, que busca quantificar a concentração do chumbo e cádmio no açúcar mascavo comercializado na cidade do Recife. Amostras do açúcar coletadas na cidade foram analisadas através da técnica de espectrometria de massa para ser determinada as concentrações desses metais. Obtidos os resultados e comparando com a literatura disponível, os níveis de concentração de chumbo e cádmio no açúcar, com valores máximos de 1,60 mg/kg e 1,30 mg/kg respectivamente, foram constatados altos para o consumo humano.

Palavras-Chave: açúcar; espectrometria; metais; chumbo, cádmio

Abstract

In order to provide greater security and information to the consumers, it is very important to perform heavy metal analysis in foods consumed by the population because the intake of large amounts of these elements can cause various health problems. And that's the purpose of this work, which seeks to quantify the concentration of lead and cadmium in the brown sugar commercialized in the city of Recife. Sugar samples collected in the city were analyzed by mass spectrometry to determine concentrations of these metals. With the obtained results and comparing with the available literature, the concentration levels of lead and cadmium, with maximum values of 1.60 mg/kg and 1.30 mg/kg respectively, were found high for human consumption.

Keywords: sugar; spectrometry, metals, lead, cadmium

1 Introdução

Mesmo imperceptíveis muitos elementos tóxicos podem estar presentes nos mais variados alimentos consumidos diariamente pela população mundial, ainda que em pequenas concentrações. Assim, é importante medir o nível de concentração que as pessoas estão ingerindo todos os dias de cada alimento, direta ou indiretamente, buscando sempre prevenir problemas de saúde provenientes da ingestão de uma elevada quantia desses elementos. Muitas vezes esses problemas ocorrem por conta da contaminação principalmente no solo usado para o cultivo de determinados vegetais. A pesquisa foca na determinação da concentração dos metais pesados chumbo (Pb) e cádmio (Cd) no açúcar comercializado na Região Metropolitana do Recife, que é consumido diariamente em larga escala.

Cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), gramínea de clima tropical, é cultivada em regiões de boa drenagem e de clima quente com solos férteis, com características de clima compatíveis que atendem as exigências técnicas da cultura. Cultivada principalmente como matéria prima para a produção de açúcar, álcool, fermento e inúmeros outros derivados, tanto para utilidades alimentícias como para indústria química [5]. O Brasil é um grande produtor e exportador de açúcar. A produção brasileira de cana-de-açúcar atingiu 717.462.101 toneladas em 2010, um aumento de 3,7%. A área colhida cresceu 5,3%, alcançando 9.076.706 hectares [6].

Designa-se metal pesado o grupo de elementos que, ocorrem em sistemas naturais em pequenas concentrações e apresentam densidade igual ou acima de 5g/cm³ [1].

O cádmio, na natureza, é um elemento traço cuja concentração na crosta terrestre varia de 0,15 a 0,20 ppm, seu principal mineral fonte é a greenockita CdS, a maior parte do Cd utilizado na indústria foi produzido nos últimos 20 anos [26], daí sua atualidade; é um elemento que encontra vários usos como: em fungicidas, baterias, tratamento da borracha, produção de pigmentos, em indústrias de galvanoplastia dando brilho e resistência à corrosão a objetos [7].

O chumbo é um elemento tóxico e ocorre como contaminante ambiental devido seu largo emprego industrial, como: indústria extrativa, petrolífera, de acumuladores, tintas e corantes, de cerâmica e bélica, encontra-se intensamente no meio em que o homem vive, a população urbana defronta-se com este problema devido à constante emissão por veículos automotores, pelas indústrias, ou ainda pela ingestão de alimentos sólidos e líquidos contaminados [8] [9].

O solo possui uma grande capacidade de retenção de

metais pesados, porém, se essa capacidade for ultrapassada, os metais em disponibilidade no meio penetram na cadeia alimentar dos organismos vivos ou são lixiviados, colocando em risco a qualidade do sistema de água subterrânea. A retenção desses metais no solo pode se dar de diferentes formas. [11] [4]. A contaminação dos solos por Cd se dá principalmente por mineração, poluição atmosférica de indústrias metalúrgicas, queima de combustíveis fósseis entre outros [10]. [12] reportam que o destino do Pb no solo, proveniente de atividades antropogênicas, tem sido causa de muitas pesquisas e investigações, devido à entrada desse metal na cadeia alimentar do homem. A contaminação de solos com chumbo é um processo cumulativo praticamente irreversível. O uso de elementos aditivos antidetonante em gasolina como chumbo, é grande a fontes de contaminação de solos e plantas, pois partículas desse metal são aerotransportadas por uma longa distância em torno de rodovias [1].

A cultura da cana-de-açúcar utiliza grandes quantidades de fertilizantes fosfatados. Um dos fertilizantes mais utilizados é o fosfogesso, um subproduto da fabricação de fertilizante fosfatado a partir do beneficiamento das rochas fosfáticas com ataque de ácido sulfúrico. Ele contém, principalmente sulfato de cálcio dihidratado e teores de P₂O₅ em torno de 0,7%. Porém, estudos recentes mostraram que fertilizantes contém grandes quantidades de metais pesados, especialmente, chumbo e cádmio [2]. Estudos realizados por [3], mostraram que a cana-de-açúcar absorve facilmente metais pesados. Portanto se faz necessário à determinação das concentrações desses metais pesados no açúcar, subproduto da cana-de-açúcar, consumido pela população.

2 Materiais e Métodos

Para a pesquisa foi escolhido o açúcar mascavo que foi comprado em sacos de um quilo em mercados da região metropolitana da cidade de Recife. Desse material retiraram-se dez amostras distintas de cinco gramas cada.

Nos laboratórios do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE) foi realizado todo o processo de preparação de amostras e para isso foi necessário inicialmente retirar toda a umidade presente nelas. As amostras foram depositadas em recipientes cilíndricos de papel alumínio, deixadas em estufa a aproximadamente 70 graus Celsius, pesadas a cada 30 minutos, até a massa estabilizar-se, indicando o valor da massa seca.

O processo de digestão seguiu a metodologia desenvolvida por [25]. As amostras foram transferidas para um béquer com capacidade de 50 ml. Em seguida foi adicionada 1 ml de HNO₃, 1 ml de HClO₄, 1 ml de H₂SO₄ e 1ml de água de pureza elevada (18 MΩ). A solução formada foi

aquecida a uma temperatura de 90 °C durante 30 minutos. Após o resfriamento, foram adicionados 50 ml de água de pureza elevada (18 MΩ) nas amostras digeridas.

Preparadas as amostras, as mesmas foram então inseridas no espectrômetro de massa dos laboratórios do CRCN-NE para serem determinadas as concentrações dos metais pesados Cd e Pb em cada amostra. A Figura 1 ilustra, de forma resumida, todos os processos que a amostra inserida no equipamento é submetida até dar a concentração dos elementos presentes na mesma.



Figura 1: Componentes principais de um equipamento de espectrometria de massa.

No equipamento, as amostras foram ionizadas através de bombardeamento por feixe de íons ou elétrons de alta energia e então enviado para o analisador, etapa em que são acelerados na presença de um campo elétrico ou magnético, logo em seguida enviadas para o detector onde ocorre a separação dos íons de acordo com a relação massa/carga. Após cada íon ser analisado os dados obtidos foram enviados para um sistema acoplado, onde é realizada a análise do espectro determinando a concentração dos elementos presentes, dentre eles os metais pesados Cd e Pb.

3 Resultados e Discussões

A cana-de-açúcar é a principal matéria-prima para a indústria açucareira brasileira. É nesse aspecto da importância deste setor agroindustrial que se justifica a necessidade do conhecimento e disseminação das informações pertinentes aos processos de produção de um açúcar de qualidade evitando qualquer tipo de risco químico, físico ou biológico [14]. A gestão da qualidade exerce um papel de extrema importância na indústria de alimentos, uma vez que o produto ofertado por este segmento pode pôr em

risco a saúde do consumidor, caso a sanidade deste produto não seja assegurada [15].

Para que um determinado elemento presente no solo possa ser absorvido pelas plantas, há necessidade de o mesmo se encontrar em forma disponível, ou seja, solúvel na solução do solo. Dessa forma, a presença de matéria orgânica, de óxidos e de hidróxidos de alumínio, ferro e manganês, ou seja, o tipo e a composição do solo, as características e as propriedades das substâncias orgânicas e das inorgânicas presentes, o valor e as variações do pH, o potencial redox do solo e a especiação química do metal em questão são fatores que interferem na disponibilidade do elemento [21]. Além disso, a presença da planta e os fenômenos de troca que se verificam na rizosfera também devem ser considerados.

O aumento anormal das concentrações destes metais pesados na cana de açúcar de algumas áreas pode ser resultante da deposição atmosférica e da aplicação de fertilizantes, corretivos, agrotóxicos [24], água de irrigação [23] e resíduos orgânicos e inorgânicos [22].

Avaliando a absorção e a toxidez de Cd em plantas de cana-de-açúcar, [16] mostraram que a cana-de-açúcar não conseguiu se desenvolver com 320 mg kg⁻¹ de Cd no solo e que a maior acumulação desse metal ocorreu nas raízes. Resultados semelhantes foram encontrados por [17], que observaram concentrações mais elevadas de Cd nas raízes e mais baixas no caldo da cana-de-açúcar, indicando, portanto, que um meio de haver entoxicação por cádmio é a absorção do metal do solo onde a cana de açúcar é cultivada.

O chumbo, assim como o cádmio, pode ser absorvido pelas raízes das plantas quando o solo que a mesma se encontra está contaminado com o metal pesado. Estudos realizados por [3] mostraram que o metal fixa-se na planta, no seu fruto e outras partes, contaminando assim os produtos finais derivados desse vegetal.

Estes elementos químicos apresentam grande mobilidade no meio ambiente e são biocumulativos, acarretando em riscos à saúde ambiental e humana, através de mudanças metabólicas e alterações gênicas que podem em humanos, provocar cânceres e morte [18] [19] [20].

Na tabela 1, podemos observar os resultados obtidos das concentrações em miligrama por quilograma dos metais em estudo, nesse caso o Chumbo (Pb) e cádmio (Cd) presente nas amostras. Os resultados obtidos mostram uma alta variabilidade dos dados obtidos durante análise.

Amostra	Concentração (mg.kg ⁻¹)	
	Chumbo	Cádmio
1	0,12	0,34
2	0,21	0,43
3	0,30	0,20
4	0,40	0,12
6	1,20	0,37
7	0,80	1,06
8	0,14	0,54
9	1,60	0,67
10	0,50	1,30

Tabela 1: Concentrações de chumbo e cádmio nas amostras de açúcar mascavo

Na figura 2, vemos os valores de concentração máxima permitidos segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) [13], que tem como referência a legislação de alimentos e bebidas do MERCOSUL, em mg/kg.

Alimento	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu
	mg.kg ⁻¹				
Sucos Naturais	-	0,50	3,00	-	30,00
Outros Alimentos	0,80	1,00	5,00	0,10	30,00

Figura 2: Concentrações de metais permitidas em alimentos para consumo humano.

Os resultados significativos obtidos com o uso do espectrômetro de massa são apresentados na Tabela 1, em mg/Kg. As concentrações presentes no açúcar ficaram entre 0,12 mg/Kg a 1,60 mg/Kg para o Pb e entre 0,12 mg/Kg a 1,30 mg/Kg para o Cd. Verificando a figura 2, percebe-se que as concentrações em algumas amostras superaram os valores máximos admissíveis para consumo humano.

4 Conclusão

As concentrações máximas dos metais presentes no açúcar foram 1,60 mg/Kg para chumbo e 1,30 mg/kg para cádmio. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) prevê uma concentração admissível por kg, para os metais pesados, de dois miligramas (0,80 mg) para chumbo e um miligrama (1,0 mg) para cádmio. Pôde-se observar que a concentração de cádmio e chumbo apresentou valor acima do permitido, ou seja, não recomendável para o consumo humano. Sendo o açúcar mascavo oriundo integralmente do caldo de cana de açúcar, existe uma necessidade de investigação para determinar se esses metais

estão presentes na cana de açúcar, que veio a ser contaminada por meios externos, ou se são incorporados ao açúcar através de contaminação no processamento do mesmo.

Referências

- [1] D. C. Adriano. Trace elements in the terrestrial environment. In: *Anais do Springer-Verlag*, New York, pages 533, 1986
- [2] A. S. Amaral. Liberação de Zn, Fe, Mn, Cd e Pb de quatro corretivos de acidez do solo e absorção por plantas de alface, em dois solos de diferentes texturas. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- [3] F. Camilotti, et. al. Acúmulo de metais pesados em cana-de-açúcar mediante a aplicação de lodo de esgoto e vinhaça. In *Anais de Eng. Agrícola*, Jaboticabal, páginas 284-293, 2007.
- [4] O. A. Carvalho. Complexos de metais pesados com substâncias húmicas e matéria orgânica: estabilidade das ligações. In *Anais São Carlos: EMBRAPA-CNPDIA: Encontro Brasileiro sobre Substâncias Húmica*, São Carlos. Páginas 2-3. 1997.
- [5] R. Cesnik. Melhoramento da cana-de-açúcar. In *Anais do Embrapa Informações Tecnológicas*, Brasília. paginas 307, 2004.
- [6] IBGE (Instituto de Geografia e Estatística). Produção Agrícola Municipal, Culturas Temporárias e Permanentes, vol. 37, Rio de Janeiro, páginas 1-91, 2010.
- [7] J. W. Moore, S. Ramamoorthy. Heavy metals in natural waters. *Nova York: Springer-Verlag*, Pages 328, 1984.
- [8] L. Larini. Toxicologia. *São Paulo: Manole*, página 315, 1987.
- [9] J. O. Nriagu. A silent epidemic of environmental metal poisoning? , *Environ. Pollution*, v.50, pages 61- 139, 1988.
- [10] P. J. Matthews. Control of metal application rates from sewage sludge utilization in agriculture. *CRC Crit. Rev. Environ. Control*, v.14, pages 199-250, 1984.
- [11] A. T. Matos, et. al. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em latossolo vermelho-

- amarelo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.20, páginas 379-86, 1996.
- [12] A. Kabata-Pendias; H. Pendias. Trace elements in soils and plants. 2.ed. New York: CRC PRESS, pages 365, 1992.
- [13] Compêndio. MERCOSUL: Legislação de alimentos e bebidas. *Associação Brasileira de Indústrias de Alimentação*, São Paulo, páginas 34, 1995.
- [14] A. M. Groff. Fatores de Produção Agropecuária. *Apostila, transparências e notas de aulas. Campo Mourão: PP, Departamento de Engenharia de Produção, FECILCAM*, 2010.
- [15] J. E. Sordan, et al. Gestão da qualidade no setor sucroalcooleiro: um estudo sobre a implantação de um sistema de gestão APPCC, 2006.
- [16] T. H. Weng, W.C. Liu, & S.W. LI. Cadmium uptake and toxicity on sugarcane. In *Anais do TAIWAN SUGAR RESEARCH INSTITUTE. Report 1992-1993a*. Tainan, páginas 12-13, 1993.
- [17] W. C. LIU, et al. Metal pollutants in landfill soils and their effect on sugarcane. *J. Environ. Geoch. Health*, 3, pages 1-13, 1993.
- [18] K. K. Krishnani. Biosorption mechanism of nine different heavymetals onto biomatrix from rice husk. *Journal of Hazardous Materials, Volume 153, Issue 3*, pages 1222–1234, 2008.
- [19] S. A. Moreira; F. W. Sousa; A. G. Oliveira. Remoção de metais de solução aquosa usando bagaço de Caju. *Quim. Nova, Vol. 32, No. 7*. páginas 1717-1722, 2009.
- [20] F. Murred, et. al.. Biosorption of Zinc by Chemically Modified Biomass of Corn cob (*Zea mays* L.). *Middle-East J. Sci. Res.*, 11 (9), pages 1226-1231, 2012.
- [21] M. E. Mattiazzo-Prezott. Comportamento do cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH. Tese de Livre Docência, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1994.
- [22] A. N. M. B. Sobrinho; A.C.X. Velloso; L.M. Costa. Lixiviação de Pb, Zn, Cd, e Ni em solo Podzólico Vermelho Amarelo Tratado com Resíduos Siderúrgicos. *Revista Floresta e Ambiente, Seropédica*, v.3, n.1. Páginas 65-75, 1999.
- [23] J. F. G. Ramalho, et. al.. Acúmulo de Metais Pesados em Solos Cultivados com Cana de Açúcar pelo uso Contínuo de Adubação Fosfatada e Água de Irrigação. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v. 23, páginas 971-979, 1999.
- [24] J. E.V. Núñez et.al.. Consequências de Diferentes Sistemas de Preparo do Solo Sobre a Contaminação do Solo, Sedimentos e Água por Metais Pesados. *R. Bras. Ci. Solo*, v.23, páginas 981-990, 1999.
- [25] H. Akagi, et. al.. Methylmercury pollution in the Amazon. *Sci Total Environ*, 175, pages 85-95, 1995.
- [26] B. J. Alloway. Heavy metals in soils. *John Wiley*, New York, pages 339, 1990.

Determinação de ^{238}U , ^{228}Ra , ^{226}Ra , e ^{40}K em açúcar comercializado na cidade do Recife

Determination of ^{238}U , ^{228}Ra , ^{226}Ra and ^{40}K in sugar marketed in Recife city

Rodrigo Santos de Oliveira

Escola Politécnica de Pernambuco

Universidade de Pernambuco

50.720-001 - Recife, Brasil

rs_psx@hotmail.com

Durval Augusto Lira Queiroz dos Santos

Escola Politécnica de Pernambuco

Universidade de Pernambuco

50.720-001 - Recife, Brasil

dalqscin@gmail.com

José Reginaldo de Arruda Cavalcanti

Escola Politécnica de Pernambuco

Universidade de Pernambuco

50.720-001 - Recife, Brasil

josereginaldo.17@hotmail.com

Hitaldo José Tavares de Araujo

Escola Politécnica de Pernambuco

Universidade de Pernambuco

50.720-001 - Recife, Brasil

hitalojta@gmail.com

Cleomácio Miguel da Silva

Escola Politécnica de Pernambuco

Universidade de Pernambuco

50.720-001 - Recife, Brasil

cleomacio@hotmail.com

Resumo

A determinação dos níveis de radiação a que o homem está exposto, direta ou indiretamente, é de vital importância para a saúde e bem-estar da sociedade. Esta pesquisa consiste em medir as concentrações de radionuclídeos naturais no açúcar mascavo comercializado na Região Metropolitana do Recife, utilizando a espectrometria gama. Comparando com a literatura disponível, os níveis de radiação no açúcar foram considerados aceitáveis, onde os valores máximos encontrados foram 8,760 Bq.kg⁻¹ para o urânio-238 e 4,235 Bq.kg⁻¹ para o rádio-226.

Palavras-Chave: açúcar, determinação, radiação, saúde, espectrometria gama.

Abstract

The determination of radiation levels to which the man is exposed, directly or indirectly, it's vitally important to the health and well-being of society. This research is to measure the concentrations of natural radionuclides in the brown sugar sold in the metropolitan area of Recife, using gamma spectroscopy. Compared to the available literature, the radiation levels in sugar were considered acceptable, where the maximum values found were 8,760 Bq.kg⁻¹ for uranium-238 and 4,235 Bq.kg⁻¹ for radium-226.

Keywords: sugar, determination, radiation, health, gamma spectroscopy.

1 Introdução

A maioria dos radioisótopos naturais tem sua origem na formação do planeta Terra, por isso, muitos deles estão presentes no dia a dia da sociedade, mesmo que não seja perceptível. Assim, é importante medir o nível de radiação a que as pessoas estão expostas todos os dias, direta ou indiretamente, buscando sempre prevenir problemas de saúde provenientes dessa radiação. Muitas vezes esses problemas ocorrem por conta de alimentos contaminados com certos isótopos radioativos, que geralmente vem do ambiente, principalmente do solo usado para o cultivo dos mesmos. Essa pesquisa concentra-se na determinação de certos radioisótopos naturais no açúcar comercializado na Região Metropolitana do Recife, sendo eles: o urânio-238 (^{238}U), o rádio-228 (^{228}Ra), o rádio-226 (^{226}Ra) e o potássio-40 (^{40}K).

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) no Brasil é cultivada em mais de 7,1 milhões de hectares, sendo este atualmente o país líder na produção de açúcar, exportação e área plantada. Por muito tempo Pernambuco foi o maior produtor de açúcar do país, e até hoje o cultivo da cana-de-açúcar é praticado em larga escala na Zona da Mata do estado, sendo fundamental para a economia pernambucana. A cana de açúcar cultivada nessa região de Pernambuco é destinada a produção de álcool, açúcar cristalizado e um percentual menor em açúcar mascavo ou demerara. O açúcar mascavo é produzido na etapa anterior de manufatura, onde o melaço, subproduto do processamento da cana de açúcar, não sofre tratamento químico com ácido sulfúrico, melhorando sua coloração. Grande parte desse açúcar é destinado para comercialização no mercado local e em comidas regionais como rapadura, doces, sucos, bolos e mel. O bagaço resultante desse processo produtivo ainda é reaproveitado como ração para animais da região, como ruminantes. Como os produtos provenientes da cana-de-açúcar são consumidos em grande quantidade, não é difícil que ocorra contaminação de alguma forma em sua produção.

Estudos realizados recentemente indicaram que a cana-de-açúcar cultivada em Pernambuco apresentou altas quantidades de radionuclídeos naturais [1]. Essa contaminação pode ter vindo tanto do ambiente quanto de fertilizantes, no caso da cana-de-açúcar, principalmente de fertilizantes fosfatados. Um dos mais comuns fertilizantes fosfatados é o fosfogesso, utilizado em grandes quantidades na cultura da cana-de-açúcar no Brasil. O fosfogesso é um subproduto da fabricação de fertilizante fosfatado a partir do beneficiamento das rochas fosfáticas com ataque de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Ele contém, principalmente, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (sulfato de cálcio dihidratado) e teores de P_2O_5 em torno de 0,7 %. Além de ser utilizado na agricultura, o fosfogesso também tem amplos usos na construção

civil, sendo usado principalmente como agente retardador de pega, substituindo o gesso [2]. No Brasil, cerca de 4,5 milhões de toneladas de fosfogesso são produzidas anualmente e estocadas em pilhas [3]. Apesar do controle de qualidade, estudos recentes mostraram que o fosfogesso contém radionuclídeos das séries do ^{238}U e do ^{232}Th , em proporções diferentes da rocha fosfática que o originou [3].

Dependendo das concentrações destes radionuclídeos na rocha fosfática e dos processos envolvidos, o fosfogesso pode apresentar quantidades significativas de radionuclídeos naturais, que, durante o processamento químico, são redistribuídos entre o ácido fosfórico e o fosfogesso [4]. A constante utilização do fosfogesso na agricultura pode aumentar a quantidade de radionuclídeos naturais no solo, tornando estes radionuclídeos mais disponíveis para as plantas. Dependendo da espécie vegetal, os radionuclídeos naturais podem ser facilmente transferidos do solo para as plantas devido a absorção radicular [5]. Dessa forma, o açúcar pode possuir radionuclídeos provenientes da fertilização do solo com o fosfogesso, onde esses radionuclídeos são transferidos para o vegetal e então para o açúcar, disponibilizando o radionuclídeo para a cadeia alimentar da população.

A contaminação por radionuclídeos naturais, dependendo da concentração no alimento ingerido pelo organismo, pode provocar câncer [6]. Os isótopos ^{226}Ra e ^{228}Ra decaem emitindo partículas alfa e beta, respectivamente, em conjunto com raios gama [7]. Altas doses de radiação ionizante, proveniente de raios gama, podem causar sérios danos nos tecidos biológicos, como a presença de eritema, dermatite, lesão vascular e cataratas. Dependendo do tempo de exposição, também provoca a morte das células irradiadas e, em casos extremos, a morte do organismo [8]. Quando o rádio é ingerido, seu comportamento metabólico é similar ao do cálcio, onde cerca de 70-90% é retido nos ossos e o restante fica distribuído uniformemente no tecido mole [9, 10, 11]. Em baixas e médias doses de depósito interno de rádio, o dano biológico mais severo é risco de câncer nos tecidos ósseos [12].

Sobre o ^{238}U , estudos mostram que ele é o isótopo mais abundante de urânio do planeta, presente em 99,274% do urânio encontrado no ambiente [13]. Quando ingerido, o urânio forma complexos íons bicarbonatos (HCO_3^-), principalmente absorvido pelos rins e ossos, mas também distribuído por diversos órgãos do corpo. Em exposição elevada ou por muito tempo, pode causar além do câncer, também graves distúrbios nos rins [14].

Já o ^{40}K representa cerca de 0,01% do potássio natural. Possui meia-vida de $1,258 \times 10^9$ anos e decai tanto por emissão beta quanto pela captura de um elétron, que provoca emissão gama de 1,46 MeV com 10,7% de

abundância e a liberação de um neutrino. É o radionuclídeo que mais contribui para a exposição interna à radiação natural, já que o potássio natural é um nutriente indispensável para todo ser vivo. Uma vez que suas concentrações no corpo humano são homeostaticamente controladas, os níveis de ^{40}K são determinados, principalmente, por circunstâncias fisiológicas [15].

Devido aos danos que esses elementos podem causar ao corpo humano, essa monitoração se torna uma importante ferramenta para a preservação da saúde pública, principalmente para alimentos produzidos em grandes quantidades, como é o caso do açúcar.

2 Materiais e métodos

Para determinação dos isótopos ^{238}U , ^{228}Ra , ^{226}Ra e ^{40}K foi escolhida a técnica de espectrometria gama. A Espectrometria Gama consegue medir as concentrações dos radioisótopos através dos raios gama emitidos pela amostra, que interagem com o detector. Assim, é possível identificar o isótopo através da energia emitida por ele e quantificá-lo através da sua atividade. Na série do urânio e do tório, o decaimento alfa de muitos isótopos vêm acompanhados de raios gama, permitindo sua detecção por essa técnica. Devido ao baixo nível de radiação normalmente encontrado em amostras ambientais, a espectrometria gama com cristal hiperpuro de germânio é um método com boa precisão para a análise de radionuclídeos naturais [16]. Essa técnica também possui algumas vantagens importantes para a pesquisa, como a rapidez e o baixo custo, além de ser um método não destrutivo [16].

Inicialmente, foram coletadas dez amostras de açúcar mascavo de diferentes marcas que são comercializadas na Região Metropolitana do Recife, cada uma com massa úmida equivalente a 200 g, pesadas em uma balança com precisão de 3 casas decimais. Cada amostra foi colocada em um recipiente cilíndrico feito de polietileno, com 6,5 cm de diâmetro, 8 cm de altura e uma capacidade volumétrica de 210 cm³. Para que ocorresse o equilíbrio secular, os recipientes foram hermeticamente fechados, utilizando cola de silicone na tampa para vedação, e foram deixados em repouso por um período de 28 dias.

Atingido o equilíbrio secular, as amostras foram analisadas, com um tempo de contagem de 43.200 s (12 h), no Espectrômetro Gama Canberra (Figura 1) do Centro Regional de Ciências Nucleares (CRCN). O aparelho possui um detector de Germânio Hiperpuro (HPGe), modelo GC3018, com 4,54 cm de diâmetro externo e volume de 41,1 cm³. O detector é envolvido com uma blindagem de chumbo de aproximadamente 6,5 cm de espessura, para diminuir ao máximo a interferência do *BackGround*. O

resfriamento do cristal de Germânio é feito por um mecanismo contendo Nitrogênio Líquido (Figura 2) com funcionamento contínuo.



Figura 1: Espectrômetro Gama do Centro Regional de Ciências Nucleares (CRCN).



Figura 2: Mecanismo de Resfriamento por N₂ líquido.

Com o espectrômetro gama foram feitas as contagens dos fótons de raios gama emitidos pelas amostras, gerando um gráfico utilizado para a determinação da atividade e concentração de cada isótopo. O aparelho DSA1000 foi utilizado para fazer a interface entre o detector e o software Genie 2000, que é responsável pela geração dos gráficos de interesse. O gráfico conta o número de emissões de raios gama para cada energia observada,

sendo possível identificar qual isótopo emitiu aquela radiação sabendo a energia que ele emite com maior probabilidade. Observando as áreas dos picos de energia característicos de cada elemento no gráfico, é possível calcular as suas atividades em Bq.kg⁻¹ através da equação 1, obedecendo às normas da International Atomic Energy Agency (IAEA).

$$A = \frac{(C - C_{Bg})}{\epsilon m \gamma} \quad (1)$$

Dessa forma, foram calculadas as atividades do ²³⁸U, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra e ⁴⁰K presentes em cada amostra de açúcar, onde:

A = Atividade do radioisótopo de interesse;

C = Número de contagens (área) do pico escolhido, obtido da análise da amostra;

C_{Bg} = Número de contagens (área) do pico escolhido, obtido da análise do Background;

ε = Eficiência de detecção do sistema (ε<1);

m = Massa líquida da amostra (kg);

t = Tempo de contagem (s);

γ = Probabilidade de emissão de raios gama através da energia selecionada.

A análise estatística dos dados foi feita através do método de Monte Carlo (MMC), uma ferramenta matemática comumente utilizada em diversos segmentos da ciência e da engenharia para simular problemas que podem ser representados por processos estocásticos, ou seja, que tem origem em processos com origem em eventos aleatórios. O MMC pode ser resumido como um método de simulação estatística que se baseia em sequências de dados aleatórios para desenvolver simulações compatíveis com a realidade.

3 Resultados e discussões

De acordo com Rusanova [17], o solo pode transferir o ²²⁶Ra e o ²²⁸Ra para a cana-de-açúcar, já que dependendo da espécie, esses isótopos podem ser facilmente transferidos do solo para os vegetais. Entretanto, as raízes das plantas somente absorvem os radionuclídeos quando estão em solução no solo [18]. Nesse caso, o rádio pode entrar em contato com a superfície da raiz. Para isso, eles devem ser carregados da solução do solo até as raízes através de fluxo eletrolítico de íons e por difusão. A intensidade da

absorção do rádio varia consideravelmente de uma planta para outra, incluindo plantas de mesma espécie [19], e é influenciada por diversos fatores, sendo o principal deles a concentração do mesmo no solo [20]. Sendo assim, podemos dizer que presença de ²²⁶Ra e ²²⁸Ra nas plantas depende principalmente da concentração desses radionuclídeos no solo e da forma química na qual são encontrados [21].

No caso específico da Zona da Mata de Pernambuco, os resíduos e dejetos originam-se de indústrias locais ou pelo uso indiscriminado de fertilizantes com fosfogesso ou gesso pelos engenhos de cana de açúcar [16]. A absorção de radionuclídeos como o ²²⁶Ra e o ²³⁸U pela cana-de-açúcar pode representar um problema de saúde pública, principalmente se essas plantas ou produtos resultantes delas, como é o caso do açúcar mascavo, são consumidos pelo ser humano [16].

O ²²⁶Ra tem significativa importância nos estudos de proteção radiológica. A introdução do conceito de dose equivalente efetiva dado pela ICRP [22], bem como os limites ocupacionais de proteção radiológica para o caso de emissões internas foram baseados no nível de segurança associado com a quantidade de 3,7 kBq.Kg⁻¹ de ²²⁶Ra no corpo humano [23]. Esse limite de segurança também pode ser usado para comparação com os resultados obtidos, já que esse valor é o máximo permitido no corpo humano [23].

Para melhor entender como funciona a contaminação desses radionuclídeos no organismo, a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) desenvolveu modelos biocinéticos para promover um estudo mais completo a respeito da ingestão de substâncias radioativas. Esses modelos buscam estudar tanto o movimento dessas substâncias no corpo quanto o tempo que permanecem em cada compartimento, de modo que seja possível calcular o risco interno associado aos diversos órgãos e seus tecidos. A Figura 3 mostra o fluxograma do modelo dosimétrico geral apresentado na ICRP-30 [24].

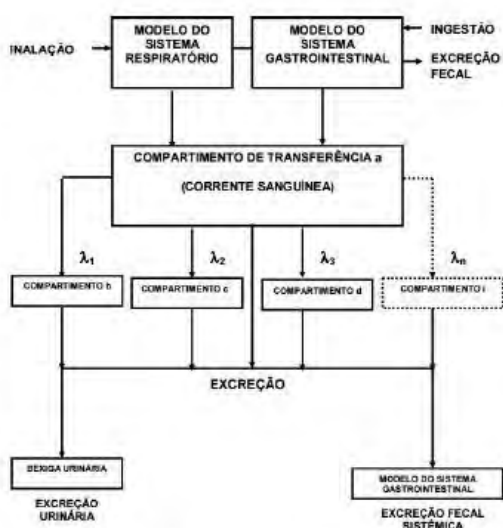


Figura 3: Esquema do Modelo Dosimétrico Geral.

Os resultados significativos obtidos com o uso do espectrômetro gama nas amostras de açúcar mascavo são apresentados na Tabela 1, em mBq.kg⁻¹. As concentrações presentes no açúcar ficaram entre 4,500 Bq.kg⁻¹ e 8,760 Bq.kg⁻¹ para o ²³⁸U e entre 1,098 Bq.kg⁻¹ e 4,235 Bq.kg⁻¹ para o ²²⁶Ra. Os demais isótopos tiveram concentrações abaixo do limite de detecção ou não estavam presentes nas amostras.

Amostra	Concentração (mBq.kg ⁻¹)	
	²³⁸ U	²²⁶ Ra
1	5020	2085
2	4500	3300
3	7200	4235
4	7860	1987
6	8760	2078
7	7689	3765
8	8675	3245
9	7863	2345
10	8654	1098

Tabela 1: Concentrações de ²³⁸U e ²²⁶Ra no açúcar mascavo.

4 Conclusões

As concentrações máximas dos radioisótopos presentes no açúcar foram 8,760 Bq.kg⁻¹ (²³⁸U) e 4,235 Bq.kg⁻¹ (²²⁶Ra). Esses níveis de radiação são considerados aceitáveis, quando comparados com a literatura e as

recomendações da *International Commission on Radiological Protection* - ICRP, não apresentando risco para a saúde humana.

Referências

- [1] J. F. Gonçalves, K. D. Correia. Sugarcane: Production, Cultivation & Uses. Nova Science Publishers Inc., New York, United States of America, 2012.
- [2] H. Sfar Felfoul, P. Clastres, M. Ben Ouedzou, A. Carles-Gibergues. Propriétés et perspectives de valorisation du phosphogypse l'exemple de la Tunisie. In *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management, EPWCOM*, Tunis, Tunisie, páginas 510-520, 2002.
- [3] A. J. G. Santos, B. P. Mazzilli, D. I. T. Fávaro, P. S. C. Silva. Partitioning of radionuclides and trace elements in phosphogypsum and its source materials based on sequential extraction methods. *Journal of Environmental Radioactivity*, 87:52-61, 2006.
- [4] C. H. Saueia, B. P. Mazzilli, D. I. T. Fávaro. Natural radioactivity in phosphate rock, phosphogypsum and phosphate fertilizers in Brazil. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 264(2):445-448, 2005.
- [5] J. P. Bolívar, R. García-Tenório, M. García-Léon. Enhancement of natural radioactivity in soils and sand-marshes surrounding a non-nuclear industrial complex. *The Science of the Total Environment*, 173/174:125-136, 1995.
- [6] BEIR IV. Health risks of radon and other internally deposited alphaemitters. National Academy Press, Washington, D. C, 1988.
- [7] California Environmental Protection Agency (CEPA). Public health goals for chemicals and drinking water: radium -226 and -228. Office of Environmental Health Hazard Assessment, California, United States of America, 2006.
- [8] J. V. A. Moreira. Radiobiologia: efeito das radiações ionizantes na célula e formas de protecção das radiações ionizantes. Tese de Mestrado em Medicina, Universidade da Beira Interior, Junho 2011.

- [9] United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation. Ionizing radiation: sources and biological effects. UNSCEAR, New York, United States of America, 1982.
- [10] H. Muth, B. Göbel. Age dependent concentration of ^{226}Ra in human bone and some transfer factors from diet to human tissues. *Health Physics*, 44(1):113-121, 1983.
- [11] M. Eisenbud, T. Gesell. Environmental radioactivity: from natural, industrial and military sources. Academic Press, New York, United States of America, 1997.
- [12] C. W. Mays, R. E. Rowland, A. Stehney. Cancer risk from the lifetime intake of Ra and U isotopes. *Health Physics*, 48(5):635-647, 1985.
- [13] M. E. Wrenn, P. W. Durbin, B. Howard, J. Lipsztein, J. Rundo, E. T. Still, D. L. Willis. Metabolism of ingested uranium and radium. *Health Physics*, 48(5):601-633, 1985.
- [14] X. Arzuaga, S. H. Rieth, A. Bathija, G. S. Cooper. Renal effects of exposure to natural and depleted uranium: a review of the epidemiologic and experimental data. *Journal of toxicology and environmental health*, Part B, 13(7-8):527-545, 2010.
- [15] J. L. Smith-Briggs, E. J. Bradley, M. D. Potter. The ratio of lead-210 to polonium-210 in U.K. diet. *The Science of the Total Environment*, 54:127-133, 1986.
- [16] C. M. Silva, R. S. Amaral, J. A. S. Junior, M. R. O. Breckenfeld, R. S. C. Menezes. ^{226}Ra Concentration in Soil and in Sugar Cane after Application of Dolomitic Limestone, Phosphogypsum or Gypsum. Sugarcane: Production, Cultivation and Uses, páginas 41-71. Nova Science Publishers Inc., New York, United States of America, 2012.
- [17] G. V. Rusanova. Behavior of radium and calcium in the soil-plant system. *Pochvovedenie* 3:63-70, 1964.
- [18] V. A. Pulhani, S. Dafauti, A. G. Hedge, R. M. Sharma, U. C. Mishra. Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil. *Journal of Environmental Radioactivity*,
- [19] A. C. Baker, C. Toque. A review of the potential of radium from luminising activities to migrate in environment. *Journal of Radiologic Protection*, 25(2):127-140, 2005.
- [20] M. J. Madruga, A. Brogueira, G. Alberto, F. Cardoso. ^{226}Ra bioavailability to plants at the Urgeiriça uranium Mills tailings site. *Journal of Environmental Radioactivity*, 54(1):175-188, 2001.
- [21] A. O. Bettencourt, M. M. G. R. Teixeira, M. D. T. Elias, M. C. Faisca. Soil to plant transfer of radium – 226. *Journal of Environmental Radioactivity*, 6(1):49-60. 1988.
- [22] ICRP. Recommendations of the International Commission of the Radiological Protection. In *Annals of International Commission on Radiological Protection*, Publication 20, Ontario, Canada, 1977.
- [23] W. A. Mills. Estimates of human cancer risks associated with internally deposited radionuclides. Internal Radiation Dosimetry, páginas 609-631. Medical Physics Publishing, Madison, Wisconsin, United States of America, 1994.
- [24] ICRP. Recommendations of the International Commission of the Radiological Protection. In *Annals of International Commission on Radiological Protection*, Publication 30, Ontario, Canada, 1978.

Sintonia de Controlador PID baseado em Busca por Cardumes

PID controller tuning on Fish School Search

Janderson S. de Freitas
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
sfreitas.janderson@gmail.com

Carmelo J. A. Bastos-Filho
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
carmelo.filho@upe.br

Roberto F. Dias Filho
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Luiz Felipe V. Verçosa
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 – Recife, Brasil

Eril V. P.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 – Recife, Brasil²

Resumo

A atenção no desenvolvimento e na eficácia de algoritmos de otimização têm crescido nos últimos anos devido à sua aplicabilidade em muitos problemas de otimização em engenharia. Seguindo esta tendência, este artigo tem como objetivo avaliar o desempenho de um algoritmo de otimização, chamado algoritmo de otimização por busca em cardume, o FSS (Fish School Search), na tarefa de otimizar os ganhos de um controlador proporcional integral e derivativo (PID). O FSS é um dos algoritmos que compõem o gênero de otimizadores inteligentes por enxame. O FSS é inspirado no comportamento de um cardume, no qual os peixes se deslocam em um espaço de busca estabelecido à procura de comida, os peixes com melhores resultados engordam e influenciam os demais a segui-lo, concentrando depois de um tempo, o cardume em soluções ótimas. O controlador proporcional Integral e derivativo, controlador PID, é uma ferramenta da engenharia de análise e controle de processos, com o objetivo de verificar o erro entre o valor de saída de um processo e o valor desejado, ele interage sobre o erro com o objetivo de minimiza-lo, zera-lo ou preveni-lo. O controlador PID possui três parâmetros (K_p , K_i e K_d) que precisam ser sintonizados para execução do controle, Este processo, muitas vezes, vem sendo realizado de forma manual ou através de métodos heurísticos clássicos. Este artigo apresenta uma ferramenta de simulação computacional (FSS) para sintonizar, de modo rápido e eficiente, o controlador PID. O algoritmo foi implementado em interface de desenvolvimento JAVA, o Eclipse, e integrado à plataforma MatLab. O MatLab foi usado como ferramenta essencial para a simulação do controlador PID, do processo, das funções de teste e do método clássico Ziegler-Nichols, garantindo, dessa forma, maior confiabilidade nos testes.

Palavras-Chave: Controlador PID, Controle de processos, Sintonia PID, Inteligência Computacional, Inteligência de enxames, Busca por Cardumes.

1 Introdução

Problemas de otimização se caracterizam pela busca da melhor solução entre todas as soluções possíveis para um determinado problema. Para problemas simples, com duas variáveis de entrada por exemplo, pode-se encontrar a melhor solução utilizando os conceitos matemáticos de diferenciação e integração. Entretanto, existem problemas mais complexos que podem possuir dezenas de variáveis de entrada, combinações não lineares entre elas e ainda espaços de busca amplos. Considere um problema hipotético em que seja necessário avaliar variáveis como: temperatura, umidade, pressão, velocidade do vento, luminosidade, altura e acidez do solo para realizar um obra de engenharia, por exemplo. Para tal problema pode ser inviável utilizar métodos matemáticos tradicionais. Felizmente, pode-se fazer uso de algoritmos de otimização que apesar de não garantirem sempre a melhor solução, ao menos podem garantir soluções aceitáveis [2].

Algoritmos de otimização são técnicas de busca por uma solução ótima para um certo problema que pode ser modelado por funções objetivo. Inspirações oriundas da natureza permitiram o desenvolvimento de modelos capazes de resolver diversos problemas complexos de otimização. Esses modelos fazem parte do campo de estudo chamado Inteligência Computacional [2].

O Algoritmo de Otimização por Cardume (FSS, *Fish School Search*) foi proposto por Bastos Filho e Lima Neto em 2008 [1] em sua versão original. O FSS inspirasse na busca de alimento por parte de uma população de peixes. Ele é um algoritmo recente quando comparado ao ano de surgimento da maioria dos outros. Por exemplo, o algoritmo de otimização por enxame de partículas (PSO, *Particle Swarm Optimization*) surgiu em 1995, enquanto que a primeira versão do FSS foi lançada em 2008. Naturalmente, algoritmos recentes precisam de reajustes e melhorias. Esse é um dos principais motivos de estudo do desempenho do FSS por meio desse trabalho.

A contribuição deste artigo está vinculada à aplicação e análise de desempenho de um algoritmo FSS utilizando otimização monobjetivo dos ganhos de um controlador proporcional, integral e derivativo (PID). Em Latha, K. [4] e Jau-Woei Perng [5] também foi abordado o mesmo estudo de caso, mas estes foram analisados para um procedimento de otimização monobjetivo baseado no algoritmo de otimização por enxame de partículas (PSO).

O restante do artigo está organizado da seguinte forma. Na seção 2 são descritos os fundamentos que regem o algoritmo FSS. Na seção 3 é realizada a descrição do controlador PID utilizado. Resultados obtidos na simulação

são apresentados na seção 4. A conclusão é apresentada na seção 5.

2 Otimização por busca em cardume (FSS)

O algoritmo de otimização baseado em cardumes foi proposto em 2008 [1] e, como já mencionado, baseia-se na busca de alimentos por parte de um cardume. Foram observados os seguintes aspectos presentes em cardumes reais:

- Os peixes se organizam em cardumes de maneira a evitar o ataque de predadores e facilitar a obtenção de comida;
- Cada peixe possui certa independência para buscar alimento por conta própria sem por isso abandonar o cardume;
- O cardume nada com uma componente em uma mesma direção no oceano;
- Quando a comida torna-se abundante em um certo ponto do cardume, ele contrai-se em torno daquela região para alimentar-se. Em contrapartida, quando a comida torna-se esparsa, ocorre uma dilatação no cardume com o intuito de aumentar a região de busca.

2.1 Conceitos importantes

Antes de descrever o comportamento dos peixes no algoritmo, faz-se necessário definir alguns conceitos intrínsecos à busca por cardume. O primeiro deles é o peso individual dos peixes. Esse peso é a medida de quão gordo (e bem-sucedido) é o peixe. Peixes gordos representam um histórico de sucesso em encontrar comida (*fitness*) e exercem uma maior influência no cardume que os magros. O segundo conceito é o de passo. O passo, como o nome sugere, representa quanto o peixe irá nadar em certa dimensão. Sendo assim, ele representa um deslocamento no espaço de busca em certa dimensão e controla a busca por profundidade e por largura do algoritmo. O terceiro e último conceito é a divisão do movimento do cardume em duas categorias, que são: movimento individual e movimento coletivo. Cada movimento possui uma correspondência direta com as características observadas no cardume real.

Resumindo, o comportamento de cada peixe é definido por um ciclo de operações considerando o movimento

individual, coletivo instintivo e coletivo volitivo. O movimento Individual é caracterizado por uma busca local gulosa com passo pré-definido *stepind*. Então, os pesos são atualizados usando (1):

$$W_i(t+1) = W_i(t) + \frac{f[x_i(t+1)] - f[x_i(t)]}{\max\{|f[x_i(t+1)] - f[x_i(t)]|\}}, \quad (1)$$

em que a diferença de aptidão é normalizada para cada iteração. O movimento Coletivo Instintivo é calculado usando (2).

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \frac{\sum_{j=1}^N \Delta x_{indj} \{f[x_i(t+1)] - f[x_i(t)]\}}{\sum_{j=1}^N \{f[x_i(t+1)] - f[x_i(t)]\}} \quad (2)$$

Então o Baricentro do Cardume é calculado usando (3). E o movimento coletivo Volitivo é executado de acordo com (4) ou (5), dependendo se o processo é de contração ou expansão.

$$Bari(t) = \frac{\sum_{i=1}^N x_i(t) W_i(t)}{\sum_{i=1}^N W_i(t)} \quad (3)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) - step_{vol} \cdot rand \cdot [x_i(t) - Bari(t)], \quad (4)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + step_{vol} \cdot rand \cdot [x_i(t) - Bari(t)], \quad (5)$$

A Figura 1 mostra as equações apresentadas anteriormente implementadas na rotina padrão do algoritmo de otimização FSS.

```

INICIO {

  Inicialize todos os peixes em posições  $x_i(0)$  aleatórias e distantes do
  mínimo global;

  Inicialize aleatoriamente o peso  $w_i(0)$  de todos os peixes;

  ENQUANTO critério de parada não for alcançado FAÇA {

    PARA CADA peixe FAÇA {

      Encontre uma posição vizinha;

      Avalie a variação no fitness de acordo com e mova o peixe
      apenas se o fitness melhorou;

      Alimente os peixes utilizando (1);

    FIM-PARA

    PARA CADA peixe FAÇA

      Execute o movimento instintivo utilizando (2);

    FIM-PARA

    Calcule o baricentro utilizando (3);

    PARA CADA peixe FAÇA

      Execute o movimento volitivo usando (4);

    FIM-PARA

    Atualize  $step_{ind}$  e  $step_{vol}$ ;

  FIM-ENQUANTO

FIM

```

Figura 1 : Pseudo-Código referente a rotina do algoritmo FSS (Fish School Search).

3 Descrição do Controlador PID

O controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID) é uma das ferramentas de controle mais usadas na indústria e tem sido utilizado em todo o mundo para sistemas de controle industrial. A popularidade de controladores PID pode ser atribuída em parte ao seu desempenho robusto em uma ampla gama de condições de funcionamento e em parte à sua simplicidade funcional, que permite aos engenheiros operá-los de uma forma simples e direta. Com o objetivo de verificar o erro entre o valor de saída de um processo e o valor desejado, ele interage sobre o erro visando minimizá-lo, zera-lo ou preveni-lo. O controlador PID possui três parâmetros (K_p , K_i e K_d) que precisam ser sintonizados para execução do controle. Este processo, muitas vezes, vem sendo realizado de forma manual através de métodos heurísticos clássicos, como exemplo, o método de sintonia de Ziegler-Nichols.

A Figura 2 mostra o diagrama em malha fechada contendo um controlador PID aplicado a um processo qualquer:

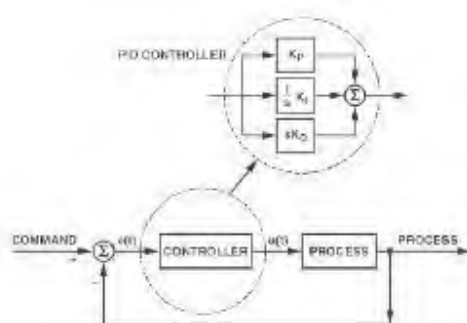


Figura 2: Planta de processo com controle PID.

A equação padrão de sintonia de um controlador PID em função do tempo é dado por:

$$MV(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \text{Integral}[e(t)] + K_d \cdot \text{Derivada}[e(t)] \quad (5)$$

Ou, no domínio de Laplace por:

$$MV(s) = K_p + K_i/s + K_d \cdot s \quad (6)$$

A seguir, são mostrados as influências dos ganhos, proporcional (K_p), integral (K_i) e derivativo (K_d) sobre o erro de resposta do processo.

Ganho Proporcional (K_p): O ganho proporcional (K_p) determina a taxa de resposta de saída para o sinal de erro.

Por exemplo, se o termo de erro tem uma magnitude de 10, um ganho proporcional de 5 produziria uma resposta proporcional de 50. Em geral, o aumento do ganho proporcional irá aumentar a velocidade da resposta do sistema de controle. No entanto, se o ganho proporcional é muito grande, a variável de processo começará a oscilar. Se K_p é aumentado ainda mais, as oscilações ficarão maiores e o sistema ficará instável e poderá oscilar.

Ganho Integral (K_i): A componente integral soma o termo de erro ao longo do tempo. O resultado é que mesmo um pequeno erro fará com que a componente integral aumente lentamente. A resposta integral irá aumentando ao longo do tempo a menos que o erro seja zero, portanto, o efeito é o de conduzir o erro de estado estacionário para zero. O *Steady-State* de erro é a diferença final entre as variáveis do processo e do ponto de referência.

Ganho Derivativo (K_d): A componente derivada faz com que a saída diminua se a variável de processo aumenta rapidamente. A derivada de resposta é proporcional à taxa de variação da variável de processo. Aumentar o ganho derivativo (K_d) faz com que o sistema de controle reaja mais fortemente a mudanças no parâmetro de erro aumentando a velocidade da resposta global de controle do sistema. Na prática, a maioria dos sistemas de controle utilizam o ganho derivativo (K_d) muito pequeno, pois a derivada de resposta é muito sensível ao ruído no sinal da variável de processo. Se o sinal de *feedback* do sensor é ruidoso ou se a taxa de malha de controle é muito lenta, a derivada de resposta pode tornar o sistema de controle instável.

A Figura 3 mostra uma curva que representa a resposta a um sinal de degrau unitário, onde é possível observar todos os parâmetros de resposta necessários para a sintonia de um controlador PID. De forma geral, procura-se minimizar o *overshooting* e os tempos de subida (T_r) e estabelecimento (T_s).

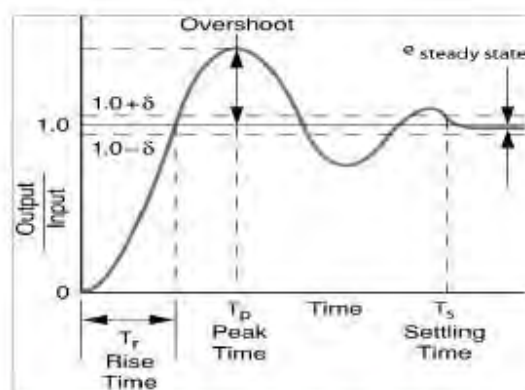


Figura 3: Curva de processo em resposta a um degrau unitário.

4 Resultados e Simulação

Toda o desenvolvimento deste trabalho foi realizado em Java, usando IDE Eclipse, em conjunto com o MatLab. No ambiente Eclipse foi implementado o algoritmo de otimização FSS e validado usando funções de teste bem conhecidas, como: *Sphere*, *Rastrigin*, *Griewank* e *Ackley*. No ambiente Matlab foi implementado um processo teste e o controlador PID, bem como sua sintonia com o método clássico proposto por Ziegler-Nichols [3] para fins de comparação.

A função a ser otimizada pelo Algoritmo, foi uma ponderação proposta por Latha e Rajinikanth [4]. Neste trabalho, foram considerados dois parâmetros baseados em função objetivo, considerando as restrições de erro e no domínio do tempo como importante, o *overshooting* (percentagem de ultrapassagem - *Ms*) e o *settling time* (tempo de estabilização - *TS*). A função de aptidão foi definida por (7).

$$fitness(\theta) = w_1.M_s + w_2.T_s, \quad (7)$$

em que θ é um vetor com as três variáveis de otimização [K_p , K_i , K_d]. w_1 e w_2 são pesos que ponderam dois subobjetivos.

A Figura 4 mostra a caracterização da curva de resposta do processo estudado sem controlador. Pode-se perceber que esta pode ser simulada juntamente com um Controlador proporcional puro (P), com ganho $K_p = 1$, $K_i = 0$ e $K_d = 0$. As Figuras 5, 6 e 7, mostram os resultados finais dos parâmetros da curva resposta, para os melhores valores encontrados de K_p , K_i e K_d , utilizando o método de ZN, FSS e PSO, respectivamente.

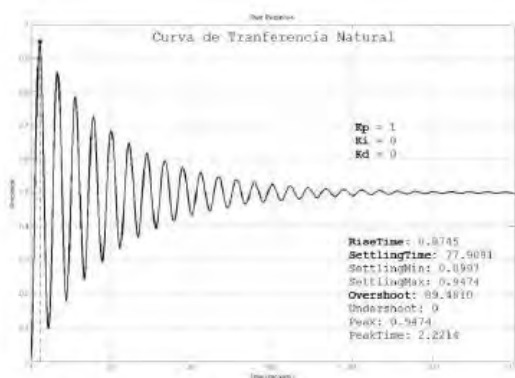


Figura 4: Resposta ao degrau unitário com PID sem otimização.

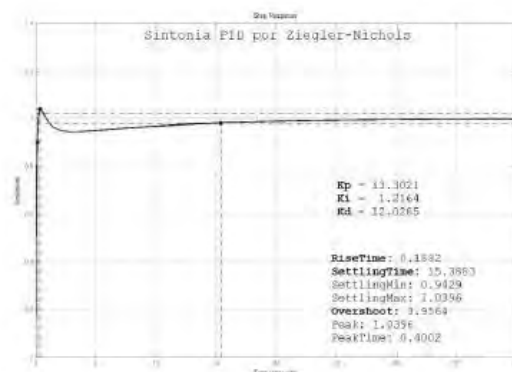


Figura 5: Resposta ao degrau unitário por sintonia PID Ziegler-Nichols.

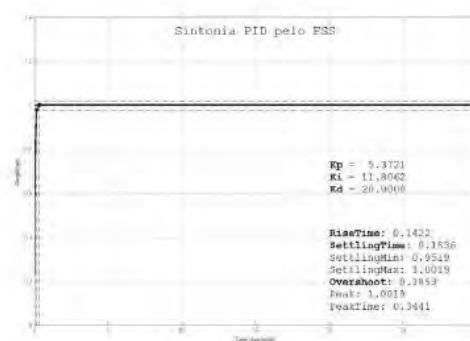


Figura 6: Resposta ao degrau unitário com PID sintonizado pelo FSS.

É possível perceber uma grande semelhança na curva resposta controlada pelo FSS e pelo PSO. Apesar disso, pode-se observar nos resultados apresentados na Figura 6, que o FSS se aproxima mais do degrau ideal, em relação aos outros métodos.

A Figura 8 mostra a distribuição de dados, em *boxplot*, das melhores soluções encontradas pelos algoritmos de otimização ao término de cada simulação. Cada distribuição representa um teste de 30 simulações com 100 iterações cada.

Apesar de resultados finais semelhantes, como mostram as Figuras 6 e 7, o desempenho do FSS, para esse problema estudado, foi mais estável, como mostrado na Figura 8.



Figura 7: Resposta ao degrau unitário por sintonia PID-PSO.

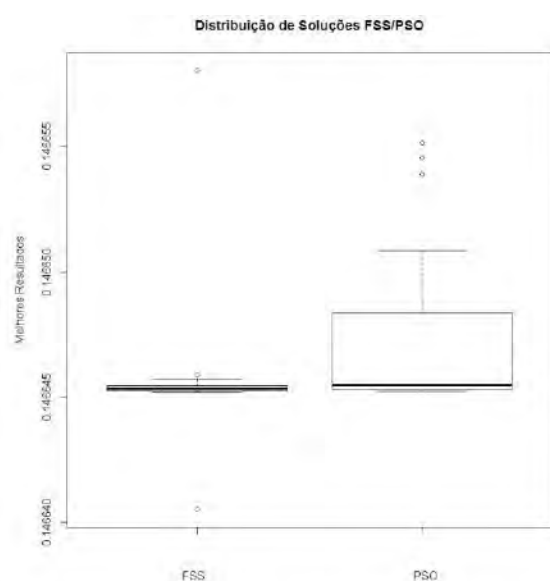


Figura 8: Distribuição de dados em boxplots dos melhores resultados para função de aptidão usando FSS e PSO.

5 Conclusões

Este artigo procurou mostrar a viabilidade da utilização do algoritmo de busca FSS para sintonia de controladores PID. O algoritmo FSS apresentou bom desempenho na otimização da função objetivo estudada em relação aos métodos heurístico clássico e algoritmo de otimização por enxame de partículas (PSO).

Foi observado durante os experimentos a relação conflitante entre si, dos parâmetros a serem otimizados da função objetivo, fazendo com que, nem sempre seja possível ponderá-los, o que nos leva, em pesquisas futuras, à

uma abordagem multiobjetiva das funções objetivo, utilizando-se de um algoritmo mais robusto, com soluções multiobjetivas.

6 Agradecimento

Os autores agradecem ao programa de iniciação científica PIBIC/POLI-PE.

Referências

- [1] BASTOS-FILHO, C. J. A. et al. A novel search algorithm based on fish school behavior. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, p. 2646–2651, 2008.
- [2] ENGELBRECHT, A. Computational Intelligence An Introduction. [S.l.]: Wiley & Sons, 2007.
- [3] J. G. Ziegler and N. B. Nichols, “Optimum settings for automatic controllers,” Transactions of the ASME, vol. 64, pp. 759–768, 1942.
- [4] LATHA, K.; RAJINIKANTH, V.; P. M. SUREKHA, P. M.: “PSO-Based PID Controller Design for a Class of Stable and Unstable Systems”, Hindawi Publishing Corporation, ISRN Artificial Intelligence, Volume 2013, Article ID 543607, 11 pages.
- [5] Jau-Woei Perng ; Guan-Yan Chen ; Shan-Chang Hsieh: “Optimal PID Controller Design Based on PSO-RBFNN for Wind Turbine Systems”, Energies 2014, 7, 191-209; doi:10.3390/en7010191.

Integração do Mecanismo de Síntese de Fala MaryTTS ao Avatar Educação

Integration of Synthesis Speech Mary TTS Mechanism to Avatar Education

Fabio Alexandre de Holanda
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
famhs@ecom.poli.br

Danilo de Souza Barbosa
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
dbs3@ecom.poli.br

Alexandre Magno Andrade Maciel
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
amam@ecom.poli.br

Resumo *O Avatar Educação consiste num assistente virtual que utiliza personagens animados com voz sintética com o objetivo de melhorar a comunicação e a interação no Ambiente Virtual de Aprendizagem. Apesar da sua considerável contribuição na área educacional, alguns problemas na qualidade da voz sintética têm sido relatados pelos usuários que utilizam o ambiente. Este artigo possui como objetivo a integração do mecanismo de síntese de fala MaryTTS ao Avatar Educação. Para isso foi realizado a comunicação dos módulos cliente e servidor do MaryTTS ao módulo de síntese do FIVE e uma adaptação do middleware Avatar Vocálico. Esta integração possibilitou a utilização dos serviços do mecanismo MaryTTS com as suas respectivas técnicas, através do seu serviço web e, assim gerar novos áudios com uma melhor qualidade na sua síntese de fala.*

Palavras-Chave: *Síntese de fala, MaryTTS, FIVE e Avatar Educação*

Abstract *The Avatar Education is a virtual assistant that uses animated characters with synthetic voice with the objective of improve communication and interaction in Virtual Learning Environment. Despite their considerable contribution in education, some problems in the quality of synthetic speech have been reported by users who use the environment. This paper aims to integrate the speech synthesis engine to MaryTTS Avatar Education. To this was accomplished the communication of MaryTTS the client and server modules to the FIVE synthesis module and an adaptation of middleware Avatar Vocálico. This integration possible the use of the mechanism MaryTTS services with their respective techniques, through its web service and thus generate new audio with higher quality in your speech synthesis.*

Keywords: *Speech synthesis, MaryTTS, FIVE Avatar Education*

1 Introdução

A disponibilização da aprendizagem pela internet, relacionado com o interesse crescente da sociedade para realizar a sua qualificação por meio de recursos computacionais, mudaram a visão do ensino à distância, e a maneira de como deliberar o processo de ensino e aprendizagem [1]. Através dessa evolução novas pesquisas multidisciplinares, envolvendo ciência e educação tem contribuído significativamente no planejamento, desenvolvimento e uso de recursos tecnológicos, a fim de oferecer novas perspectivas de interação e comunicação dentro do contexto educativos [2].

O Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) é uma ferramenta que realiza uma interação entre os usuários, além de auxiliar com recursos de comunicação assíncrona e síncrona. Entre esses recursos estão as listas de discussão, fóruns, chat, videoconferência e ferramenta para gerenciamento de atividades e avaliação que são os mais utilizados. [3] Apesar disso, esse ambiente causa uma sensação de elevada recebimento de informação para os estudantes, que geralmente confundem a grande quantidade de conteúdo disponível por essa plataforma de ensino [4].

Esta situação é considerada muito comum em cursos na modalidade de ensino à distância, pelo alto grau de interação dos alunos, por meio do ambiente e uma grande fluxo de informação diário. Nesse contexto, a carga excessiva de informações apresentadas de forma não estruturada, pode causar efeitos adversos, tais como falta de compromisso nas ações do curso, ou em casos mais graves de evasão dos alunos [5].

Em Maciel *et al.* [6] foram construídas, a partir de uma base de dados própria contendo cerca de quatro horas de áudio, um conjunto de vozes masculina e feminina, tomando como base a ferramenta de síntese de fala HTS (*HMM-based Speech Synthesis Toolkit*) [7] que foi integrado ao FIVE. Apesar dos bons resultados obtidos a solução apresentou problemas de portabilidade que foram solucionados em Sousa *et al.* [8], utilizando a plataforma MaryTTS (*Modular Architecture for Research in sYnthesis*) [9]. Já em Maciel *et al.* [4] foi construída uma arquitetura de desenvolvimento portátil por meio de um *middleware* chamado Avatar Vocablo responsável pela geração das sequências de animação e por realizar a comunicação com o Framework FIVE.

2 Revisão da Literatura

Esta revisão da literatura apresenta os conceitos essenciais para o entendimento do problema de pesquisa e para a integração do mecanismo de síntese de fala MaryTTS ao

Avatar Educação. Dentre os conceitos apresentados, analisamos a síntese de fala e as técnicas de síntese baseada em seleção de unidade concatenativa e baseada em HMM, e as ferramentas Avatar Educação, o framework FIVE e o sistema de síntese de fala MaryTTS.

2.1 Síntese de Fala

Síntese de fala é o processo de geração de uma réplica sintética de um sinal de fala, como forma de transmitir mensagem de uma máquina para uma pessoa [10]. Duas características são essenciais na classificação dos sistemas de síntese de fala: a qualidade do sinal de fala e o tamanho do vocabulário. Na qualidade do sinal existe as suas características de naturalidade e inteligibilidade. Já o tamanho do vocabulário existe as amostras de áudio pré-gravadas possuem qualidade real de sinal, contudo possuem vocabulário limitado, já os sistemas de *Text-To-Speech* (TTS) são capazes de gerar fala com boa qualidade com um vocabulário ilimitado [11].

O sistema TTS é o processo de conversão de um determinado texto, para discurso sintético. Sendo composto formado por duas fases: a primeira consiste no Processamento de Linguagem Natural (PLN), onde a mensagem de entrada é transcrita em uma representação de nível fonético e a segunda consiste na Geração da Fala em que as formas de onda de voz são geradas e a saída acústica é produzida. Essas duas fases são respectivamente chamadas de síntese de alto nível e síntese de baixo-nível [12]. Uma versão simplificada do processo é apresentada na Figura 1.



Figura 1: Descrição do processo de síntese de fala [12]

De acordo com Tokuda *et al.* [7], há diferentes abordagens ou técnicas que podem ser utilizadas para a geração de formas de onda do discurso de uma locução. As abordagens mais comuns são: a síntese de voz para a seleção e concatenação de unidades e, a síntese de voz com base em parâmetros calculados pelo Hidden Markov Models (HMM).

2.1.1 Síntese baseada em seleção de unidades

A seleção da unidade ainda é a abordagem dominante para a síntese de voz de alta qualidade, no entanto sintetizadores baseados em HMMs foram muito apreciados recentemente por causa da possibilidade de obtenção de discurso de boa qualidade a partir de um pequeno banco de dados, e devido ao fato de que as características de voz podem ser modificadas [13].

De acordo com Taylor [10], historicamente, sistemas de síntese de seleção da unidade é considerada uma extensão natural do sistema Concatenativo, em que são utilizadas pequenas unidades, pré-gravadas de discurso, como fonemas, difonemas e trifonemas para construir o enunciado. No caso em que não apenas um, mas centenas de realizações de cada unidade de discurso fonética estão presentes em um inventário, um processo de seleção da unidade deve ocorrer a fim de criar a sequência da sua unidade sintética [14].

2.1.2 Síntese baseada em HMN

A síntese baseado em HMM tem sido um tema importante na pesquisa de síntese de voz e utilizado em todo mundo por ambas as organizações acadêmicas e comerciais. Ele consiste em duas fases principais, a fase de treinamento e a fase de síntese. Na fase de treinamento, deve ser decidido que modelos devem ser treinados, utilizando os recursos que são extraídos e colocado no vetor com suas características [11].

O algoritmo de Baum-Welch é usado com os vetores de características para a produção de modelos para cada allophones. Um modelo geralmente consiste de três estados que representam o início, no meio e no final do fonemas. A fase de síntese consiste em dois passos: em primeiro lugar, os vetores de características para uma dada sequência de allophones têm que ser estimados. Em segundo lugar, um filtro é implementado para transformar esses vetores de características em sinais de áudio [15].

2.2 Ferramentas

As ferramentas utilizadas para integração do sistema Mary ao Avatar Educação foram o plugin Avatar Educação, o framework FIVE e o sistema de síntese de fala MaryTTS.

2.2.1 Avatar Educação

O Avatar Educação consiste num assistente virtual que utiliza personagens animados com voz sintética com o objetivo de melhorar a comunicação e a interação no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) Moodle [4]. O seu funcionamento ocorre por um serviço Web onde é enviado solicitações ao Avatar Vocálico [16], middleware responsável pela comunicação com o FIVE [17], que por sua vez tem a função de gerar voz sintetizada. A Figura 2 mostra a visão geral da arquitetura do Avatar Educação.

O processo de execução do avatar educação iniciou com uma consulta ao banco de dados do Moodle, no qual realiza uma comparação no seu log de consultas. Caso a

comparação tenha resultado inalterado desde a última consulta, então nada é feito em relação a solicitação realizada via web service para o Avatar Vocálico, ou seja, essa síntese já foi realizado, não sendo assim necessário refazer as operações de geração de voz, precisando somente buscar os arquivos no repositório do Avatar Vocálico [4].

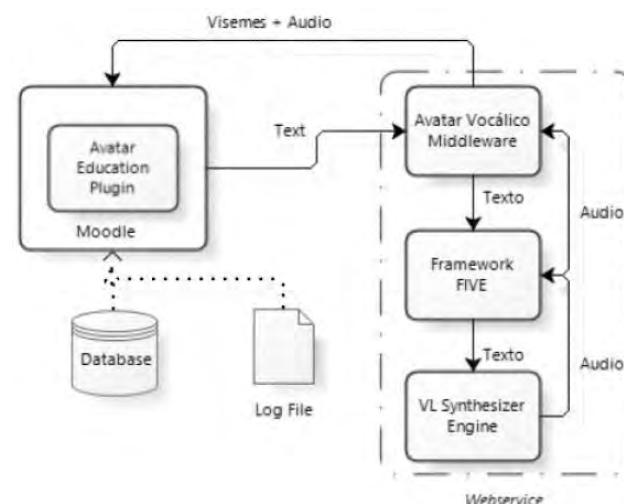


Figura 2: Arquitetura do Avatar Educação

Caso o resultado dessa comparação tenha dado diferente dos registros do log, é enviado uma mensagem de texto para o Avatar Vocálico, que é responsável pela geração da animação dos visemas, além de enviar solicitação de síntese e fala para o FIVE. Por sua vez o FIVE utiliza o motor de síntese *VL Synthesizer* para geração do áudio que é devolvido ao Avatar Vocálico. Os arquivos de áudio e visemas são disponibilizado no repositório do Avatar Vocálico, no qual são chamados pelo plugin, para assim realiza a geração da animação.

2.2.2 Framework FIVE

O FIVE (*Framework for an Integrated Voice Environment*) é um *framework* construído com o objetivo de auxiliar o desenvolvimento integrado de aplicações com interfaces de voz. Sendo possível gerar motores de síntese de voz, de reconhecimento de fala e de verificação de locutor, por meio de uma API (*Application Programming Interface*) própria e instanciar estes motores em múltiplas aplicações [17].

A construção do FIVE foi realizado em consideração os requisitos propostos pela comunidade acadêmica na área de processamento de voz. Pelo qual foi observado nesta pesquisa a necessidade da construção de uma ferramenta que auxilie a aplicação com interface baseado em voz, com uma rápida curva de aprendizagem, capacidade de extensão entre as técnicas de extração de características

e classificação de padrões e a portabilidade entre ambientes computacionais [5].

A arquitetura do framework FIVE é composta por cinco módulos, no qual os módulos básicos são representados por três módulos de processamento de fala: motor de reconhecimento automático de fala (ASR) responsável pela extração de informação de uma mensagem, contida em um sinal de fala, motor texto-fala (TTS) responsável pela criação de uma réplica sintetizada a partir de uma mensagem textual e o motor de verificação automático de fala (ASV) responsável pela verificação do locutor com o propósito de restringir o acesso à informação.

O FIVE além dos módulos básicos possui dois módulos intermediários: o módulo interface de programação (API) que consiste numa comunicação entre os módulos básico que é integrado ao arcabouço de classes do CORE que realiza a execução central do *framework* e ao GUI (*Graphical User Interface*) que possui uma interface gráfica que auxilia o desenvolvimento de projetos necessários para a camada de aplicação; e o módulo APP que consiste numa possível aplicação dessa arquitetura em outra plataforma como no ambiente virtual de aprendizagem [17].

2.2.3 Sistemas MaryTTS

O sistema MaryTTS é uma plataforma open-source, multilingual Text-to-Speech Synthesis escrito em Java, originalmente desenvolvido como um projeto colaborativo de DFKIs Idioma Lab Tecnologia e pelo Instituto de Fonética da Universidade de Saarland, e agora mantido pelo grupo de processamento Multimodal Speech no Cluster de Excelência MMCI e DFKI [18]. MARY significa arquitetura modular para a pesquisa sobre a síntese de voz e essa arquitetura modular é capaz de suportar vários idiomas [19, 20], treinados através de várias técnicas [21, 22].

A arquitetura do MaryTTS é formada pela estruturação do processamento de linguagem natural e pela geração de voz sintética. A arquitetura do processamento de linguagem natural é composta por quatro partes [23]:

1. O pré-processamento ou normalização do texto que realiza a expansão de abreviatura e numeral;
2. O processamento de linguagem natural que realiza a análise linguística;
3. O cálculo dos parâmetros acústicos que realiza a entonação de voz;
4. O sintetizador de voz que cria um arquivo de som a partir de uma sequência de fonemas.

Já a arquitetura utilizada para a geração da voz é composta pelo serviço realizado entre o cliente e o servidor. O seu funcionamento é formada por um servidor principal que faz pedidos para o servidor executa alguma tarefa e recebe o resultado do processamento do cliente. Um servidor pode suportar várias línguas e recebe pedidos dos clientes em uma porta especificada pelo seu servidor [23].

3 Integração

O processo de integração do mecanismo de síntese de fala Mary ao Avatar educação foi proposto para realizar a geração de novas vozes sintéticas com as técnicas baseado em Seleção de Unidade Concatenativa e baseado em HMM. Sendo essa integração proposta em três fases: instalação do sistema Mary ao servidor WEB, modificação do módulo de síntese do framework FIVE e a integração ao avatar educação para reconhecer o serviço proposto no MaryTTS.

A primeira fase da integração foi realizado uma instalação do sistema Mary ao servidor Web, com isso esse serviço passou a ser disponibilizado no servidor do avatar educação, com as configurações de endereço e a sua porta especificada pelo sistema Mary. O servidor Web passou a executar os serviços cliente e servidor do sistema Mary e disponibiliza esse serviço em múltiplas plataformas. Conforme mostrado na Figura 3.

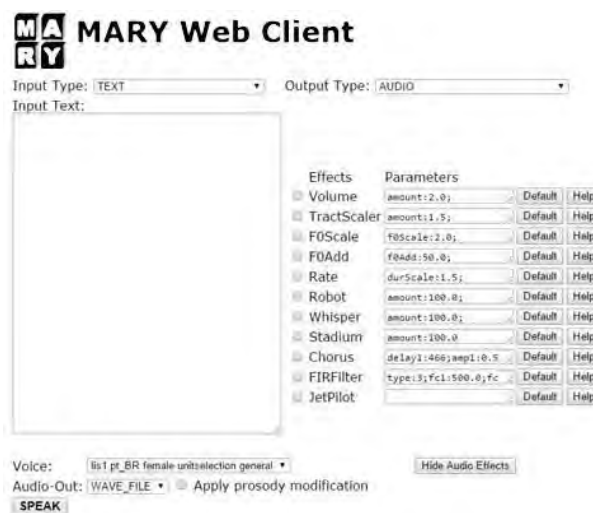


Figura 3: Interface do servidor Web MaryTTS

Com o servidor Mary executado por um serviço na WEB, tornando assim, o seu cliente disponível por meio de uma interface gráfica. Caso deseje realiza a geração da voz sintética é necessário solicita os seguintes parâmetros: tipo de entrada de texto e saída de áudio, tipo de voz masculino ou feminino e a sua respectiva técnica seleção de unidade ou baseada em Modelos Ocultos de Markov e o

tipo de áudio nos formatos de áudio WAV, AIFF ou WMA.

A segunda fase ocorreu a modificação do módulo de síntese do framework FIVE. Sendo assim, realizado a importação da biblioteca do Mary ao repositório FIVE CORE. Com a execução do Mary disponível no FIVE foi necessário adaptar os seus parâmetros disponibilizado pelo Mary, para assim, fica compatível ao módulo de síntese de fala do FIVE.

As modificações para reconhecer a execução do motor de síntese ocorreu no módulo FIVE API, para isso foram utilizadas as configurações do motor síntese HTS, como forma de manter as características da arquitetura do FIVE [22]. Com isso foi possível executar o motor Mary no FIVE com uma solicitação de áudio sintético, contendo como entrada um texto. A geração desse áudio ocorreu por duas formas pela geração do arquivo de síntese de fala nos formatos WAV ou pela execução do áudio da síntese de fala.

Com a execução do motor de síntese do Mary compatível a arquitetura do FIVE foi necessário realizar a conexão dos parâmetros utilizado no servidor do Mary ao módulo FIVE CORE. Essa conexão entre o servidor que está executando na WEB ocorreu com a estruturação dos parâmetros do servidor, para assim reconhece o seu cliente no FIVE.

Com isso o FIVE CORE passou a executar informações do servidor Mary, no qual foi realizado a configuração com o caminho do seu endereço Web e a sua porta específica, os caminhos do texto e a o seu respectivo áudio. além das configurações padrões do motor de síntese do Mary: a entrada do texto e a saída do áudio, o idioma utilizado português do Brasil e o geração do arquivo de áudio no formato WAV como mostrado a Figura 4.

```
String serverHost = System.getProperty("server.host", "vocallab.com.br");
int serverPort = Integer.getInteger("server.port", 59125);
MaryClient mary = MaryClient.getMaryClient(new Address(serverHost, serverPort));
String text = phrase;
String locale = "pt_BR";
String inputType = "TEXT";
String outputType = "AUDIO";
String audioType = "WAVE";
String defaultVoiceName = speaker;
ByteArrayOutputStream baos = new ByteArrayOutputStream();
mary.process(text, inputType, outputType, locale, audioType, defaultVoiceName, b
AudioInputStream ais = AudioSystem.getAudioInputStream(
    new ByteArrayInputStream(baos.toByteArray()));

AudioSystem.write(
    ais, AudioFileFormat.Type.WAVE, new File(enginePath + File.separator + "
    + File.separator + fileName + ".wav"));
```

Figura 4: codificação com as configurações do Mary Cliente

A terceira fase foi realizado a integração do serviço disponibilizado no FIVE do Mary ao Avatar Educação. Sendo realizado uma reformulação do módulo Avatar Vocálico *Middleware*, que realizar uma comunicação com

framework FIVE. Com essas mudanças o Avatar Vocálico, consegue executar o áudio no FIVE, utilizando os mecanismos HTS [25] e o mecanismo de síntese de fala MaryTTS [23], e a execução desses mecanismos a depende da solicitação realizada pelo Plugin Avatar educação, no qual pode enviar solicitação ao motor HTS ou ao motor Mary, com os parâmetros frase, voz e o arquivo de áudio. Como mostrado na Figura 5.

```
String enginePath = args[0];
String phrase = args[1];
String speaker = args[2];
String fileName = args[3];
int type = Integer.parseInt(args[4]);

Synthesizer synthesizer = new Synthesizer(enginePath);
if (type == 1) {
    synthesizer.synthesizeMary(phrase, speaker, fileName);
} else if (type == 2) {
    synthesizer.synthesizeHTS(phrase, speaker, fileName);
}
```

Figura 5: Codificação modificada do Avatar Vocálico

A arquitetura modificada do Avatar Educação passou a executar os dois motores de síntese de fala. Como mostrado na Figura 6. Com isso o mecanismo de síntese HTS necessita dos parâmetros com a descrição do texto e o tipo de áudio masculino ou feminino. Com essas especificações definidas ocorre a síntese no motor HTS (*HMM-based Speech Synthesis Toolkit*) e a geração do seu respectivo áudio [26].

Já o mecanismo de síntese MaryTTS é um sistema que possui uma execução de serviço entre o seu cliente e o um servidor web [18]. Com a possibilidade receber solicitação do Avatar Vocálico e gerar áudio utilizando as técnicas baseada em Seleção de unidade e baseado em HMM, possibilitando assim a gerações de áudio e dos visemas e realizar a geração das novas animação.

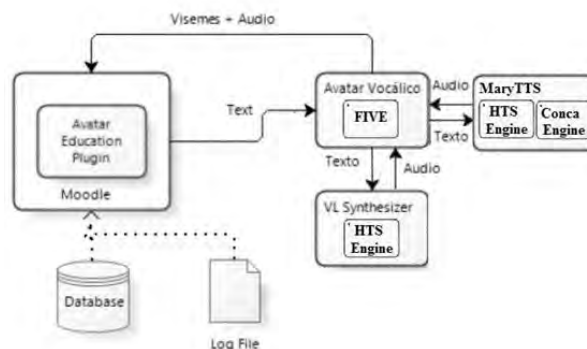


Figura 6: Avatar Educação modificado

4 Resultados e discussão

Os resultados obtidos com a integração do mecanismo de síntese de fala MaryTTS ao Avatar educação foram relevantes. Com essa integração do mecanismo de síntese de fala ficou disponível na Web um serviço de síntese de voz, com a possibilidade de gerar vozes sintética utilizando as técnicas seleção de unidade e baseada em HMM, além da modificação no dicionário da língua português Brasileiro.

Com esse serviço web sendo executado no servidor do Avatar Educação, além de utiliza essas vozes no ambiente virtual de aprendizagem, existe a possibilidade de executa em qualquer sistema WEB e na plataforma Android. Além disso, o servidor WEB está sendo executado como um modulo cliente no framework FIVE, e com isso ser utilizado em múltiplas plataformas. Conforme mostrado na Figura 7.

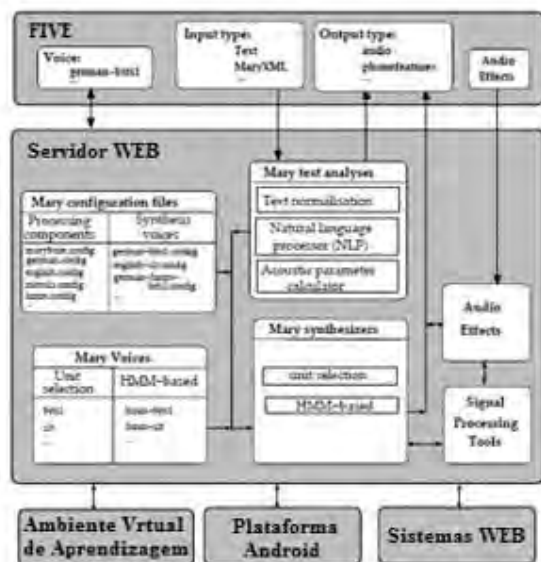


Figura 7: Arquitetura de integração das ferramentas

Na integração do sistema MaryTTS por uma aplicação do FIVE ao plugin Avatar Educação foi observado como resultado a possibilidade de alteração das vozes geradas pela animação do Avatar. Sendo assim, possível atualiza o repositório do servidor Mary que está como serviço no servidor no servidor do Avatar Educação. Podendo assim, altera a depende da necessidade do Avatar Educação o tipo de voz masculino ou feminino e a sua técnica seleção de unidade ou baseada em HMM.

5 Conclusão

Este artigo realizou a integração do mecanismo de síntese de fala do MaryTTS para o Avatar Educação. Para isto foi realizado um agregação dos módulos cliente e servidor do MaryTTS ao módulo CORE do FIVE e com instanciação no módulo API do FIVE. Depois de realizado todo o encapsulamento das classes, foi alterado o módulo API do FIVE para que o mesmo reconheça os novos serviços de voz e os forneça às aplicações que realiza instanciação desse motor de síntese de fala. Na sequência, foi realizada uma adaptação do *middleware* Avatar Vocálico para que ele fosse capaz de optar pelas vozes produzidas pelo mecanismo HTS ou pelo mecanismo MaryTTS.

Acreditamos que essa integração, possibilitou a utilização do Avatar educação com a geração de vozes produzidas com as técnicas baseada em seleção de unidade e baseada em HMM, além da construção de novas com o mecanismo de síntese MaryTTS e a sua execução com a solicitação do Avatar educação. Desse modo, concluímos que essa integração possibilitou utiliza o Avatar educação com a execução de diversas geração de áudio com as técnicas disponibilizada no MaryTTS. Como trabalhos futuros integrar novos motores e serviços de fala, assim como criar um serviço web para o HTS, para que as mudanças na arquitetura do FIVE fiquem mais consolidadas.

Referências

- [1] M. L. P. Flôres, L. M. R. Tarouco. Diferentes tipos de objetos para dar suporte a aprendizagem. *Revista Renote*, 6(2), 2008.
- [2] L. M. A. Santos. A Inserção de um Agente Conversacional Animado em um Ambiente Virtual de Aprendizagem a partir da Teoria da Carga Cognitiva. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Jan 2009.
- [3] D. C. B. Marcelo, D. S. M. Ana Paula, R. B. A. Zulatto. Educação a distância online. Autêntica, 2013.
- [4] A. M. A. Maciel, R. L. Rodrigues, E. C. B. Carvalho. Desenvolvimento de um Assistente Virtual Integrado ao Moodle para Suporte a Aprendizagem Online. In *Proceedings of Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, Mato Grosso do Sul, páginas 06-10, 2014.
- [5] L. M. A. Santos. A Inserção de um Agente Conversacional Animado em um Ambiente Virtual de Aprendizagem a partir da Teoria da Carga Cognitiva. Tese de Doutorado Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

- [6] A. M. A. Maciel. Investigação de um Ambiente para o Desenvolvimento Integrado de Interface de Voz, Tese de Doutorado Universidade Federal de Pernambuco, dez, 2012.
- [7] K. Tokuda, Y. Nankaku, T. Toda, H. Zen, J. Yamagishi, K. Oura. Speech synthesis based on hidden Markov models. In *Proceedings of the IEEE*, 101(5): 1234-1252, 2013.
- [8] D. Sousa, S. Levi, A. M. A. Maciel. A Portability Evaluation of Brazilian Portuguese voices produced with MARY TTS. In *Systems, Signals and Image Processing*, 2014.
- [9] M. Schroder, J. Trouvain. O sistema de síntese MARY alemão text-to-speech: Uma ferramenta para pesquisa, desenvolvimento e ensino. *International Journal of Speech Technology*, v 6, n. 4, p. 365-377, 2003.
- [10] P. Taylor. Text-To-Speech Synthesis. Universidade Cambridge, 2009.
- [11] V. L. Latsch. Desenvolvimento de um sistema de conversão texto-fala com modelagem de prosódia. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Jan 2011.
- [12] R. S. Maia. Speech Synthesis and Phonetic Vocoding for Brazilian Portuguese based on Parameter Generation from Hidden Markov Models. Tese de doutorado do instituto de tecnologia Nagoya, 2006.
- [13] Y. Tabet, M. Boughazi. Speech Synthesis Techniques: A Survey. In: *Proceedings of International Workshop on Systems, Signal Processing and their Applications*, Argel, Argélia, 2011.
- [14] A. J. Hunt, A.W. Black. Unit Selection in a Concatenative Speech Synthesis System Using a Large Speech Database. In: *International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. 1, pp. 373-376. IEEE, Atlanta, Georgia, 1996.
- [15] K. Tokuda, T. Yoshimura, T. Masuko, T. Kobayashi, T. Kitamura. Speech parameter generation algorithms for HMM-based speech synthesis. In *Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 3(2): 1315-1318, 2000.
- [16] R. L. Rodrigues, A. M. A. Maciel, E. C. Carvalho. Desenvolvimento de uma ferramenta para a produção de mídias utilizando personagem animado com síntese de voz. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 2012.
- [17] A. Maciel, E. Carvalho. FIVE - Framework for an Integrated Voice Environment. In *International Conference on Systems, Signals and Image Processing*, Rio de Janeiro, 2010.
- [18] The MARY Text-to-Speech System, <http://mary.dfki.de>, nov. 2015.
- [19] I. Couto, N. Neto, V. Tadaiesky, A. Klautau, R. Maia. An Open Source HMM-based Text-to-Speech System for Brazilian Portuguese. In *7th International Telecommunications*, Manaus, 2010.
- [20] P. Stavropoulou, D. Tsonos, G. Kouroupetroglou. Language Resources and Evaluation for the Support of the Greek Language in the MARY Text-to-Speech. In *17th International Conference on Text, Speech and Dialogue*, Springer International Publishin, Czech Republic, 2014.
- [21] M. Charfuelan, S. Pammi, I. Steiner. MaryTTS Unit Selection and HMM-based Voices for the Blizzard Challenge 2013. In *Proc. of the Blizzard Challenge*, , Spain, 2013.
- [22] S. Pammi, M. Charfuelan. HMM-based sCost Quality Control for Unit Selection Speech Synthesis. In *Blizzard Challenge Workshop, Proc. of the Blizzard Challenge*, 2013.
- [23] M. Schroder , J. Trouvain. The German text-to-speech synthesis system MARY: A tool for research, development and teaching. In *International Journal of Speech Technology*, 6(4):365-377, 2003.
- [24] A. Maciel, CARVALHO, E. Carvalho. Integration and evaluation of an HMM-based Text-To-Speech System to five. In: *Systems, Signals and Image Processing*, 2012
- [25] HTS, HMM-Based Speech Synthesis System, <http://hts.sp.nitech.ac.jp>, Abr, 2014.
- [26] HTK, extensões com parâmetros do HTK, <http://htk.eng.cam.ac.uk/extensions>, Jun, 2015.

Extração de características e classificação de assinaturas manuscritas

Features extraction and classification of handwritten signatures

Danilo Simplicio da Rocha

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
dsr@ecom.poli.br

Byron Leite Dantas Bezerra

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
byronleite@ecom.poli.br

Resumo

O intuito do presente relatório é descrever as atividades desenvolvidas ao longo d um projeto de iniciação científica, cuja finalidade é extrair características e classificar uma assinatura manuscrita, além de definir alguns conceitos importantes relacionados ao tema. O principal resultado alcançado, foi a elaboração de um software que permite a captura de assinaturas on-line, e a criação de três bases de dados de assinaturas off-line, que serão utilizadas em diferentes abordagens de classificação, podendo levar a um algoritmo que identifique a autenticidade de uma assinatura independente da forma que ela foi obtida (on-line ou off-line)

Palavras-Chave: *Verificação de assinatura; Reconhecimento de padrões; Biometria; Processamento de Imagens*

Abstract

The report's aim is to describe the activities developed over a research project, whose purpose is to features extraction and sort the handwritten signature and defines some important concepts related to the topic. The major achievement was the development of a software that allows to capture online signatures, and the creation of the three signatures offline databases that will be used in different classification approaches, leading an algorithm which identifies the authenticity of an independent signature the way it was obtained (online or offline)

Keywords: *Signatures verification, Pattern recognition, Biometry, Image processing*

1 Introdução

A assinatura manuscrita é um método largamente utilizado para autenticação pessoal na sociedade contemporânea, sobretudo em processos administrativos e financeiros [1]. Sua eficácia se dá pelo fato de ser um identificador biométrico.

Um classificador biométrico é essencialmente um sistema de reconhecimento de padrões que opera por meio das características biológicas ou tratamento comportamental [2][3]. Dentro desse entendimento, a assinatura pertence a uma classe única e diferenciada, pois diferentemente da retina, da impressão digital ou mesmo da voz, uma assinatura manuscrita não possui relação anatômica com seu autor. Por conseguinte, poderão existir variações intrapessoal entre subscrições de um mesmo mentor, semelhanças caligráficas entre diferentes sujeitos e tentativas de fraudes que podem levar técnicos forense experientes a indecisão ou ao erro.

Ao passo que um documento pode ser furtado e uma senha copiada, a informação biométrica é muito mais difícil de ser transferida ou reproduzida, sendo assim, um meio de identificação mais confiável e seguro.

A verificação automática de assinaturas desperta um amplo fascínio da comunidade científica, tanto pelos seus desafios tecnológicos, quanto pela importância de sua aplicação prática. Uma vez que, subscrições contrafeitas podem acarretar danos significativos ao indivíduo e em instituições públicas e privadas [7].

Neste relatório os principais conceitos que envolvem a extração de características e classificação de assinaturas são abordados. Além disso, expõe o processo de criação das bases de dados que serão utilizadas nas próximas etapas deste projeto de iniciação científica.

2 Referencial teórico

2.1 Formas de captura

A captura de uma assinatura pode ser obtida de duas maneiras distintas, que são as formas off-line (estática) e on-line (dinâmica)[4].

Na forma off-line, não se tem conhecimento dos movimentos necessários para gerar a assinatura, ou seja, o usuário faz a assinatura em uma folha de papel, que é subsequentemente digitaliza, utilizando por exemplo um scanner ou uma câmera fotográfica. Já na forma on-line, a captura é realizada sobre um dispositivo, geralmente é um tablete, que permite capturar informação dinâmicas da assinatura

(coordenadas, pressão em ponto, velocidade, aceleração, etc.).

Quando os dois métodos são comparados, percebe-se, do ponto de vista técnico, que o reconhecimento de assinaturas on-line é mais vantajoso em relação ao off-line [5]. Entre os fatores que interferem neste desempenho, destacam-se:

- Maior riqueza de informações: além das características visuais da assinatura, é possível obter informações temporais e dinâmicas;
- Pureza da imagem: uma assinatura off-line costuma apresentar distorções provenientes do processo de digitalização, o que dificulta o processo de autenticação;
- A forma off-line demanda um tratamento muito mais complexo, que resulta em um desempenho inferior.

Todavia, a necessidade de um dispositivo para captura on-line limita sua aplicação, visto que impede a verificação em cheques bancários ou documentos previamente assinados.

2.2 Tipos de Fraude

Uma assinatura falsa pode ser bastante diferente de uma autêntica, tanto em formato como em suas propriedades, ou serem tão idênticas que mesmo um técnico forense experiente pode ter dificuldades em classificá-la corretamente. As assinaturas não fidedignas podem ser classificadas em [6]:

- Imitação exercitada - o falsário treina uma assinatura qualquer, até reproduzi-la sem a necessidade de um modelo (não possui equivalência com a legítima);
- Imitação de memória - o falsário memoriza traços da assinatura genuínas;
- Imitação servil - fraude habilidosa, pois o falsificador, possuindo cópias da assinatura autêntica, treina até conseguir reproduzir os traços;
- Sem imitação - o falsário reproduz o nome do autor sem se preocupar com a forma;
- Auto falsificação - o próprio autor gera uma fraude com o objetivo de negar a autoria;

- Decalque - O falsário utiliza uma transparência da assinatura real.

2.3 Etapas do processo

O processo de criação de um sistema de verificação de assinatura, seja on-line ou off-line, é dividido normalmente em duas etapas: criação de uma base de dados e processo de verificação.

A base de dados é criada adquirindo versões autênticas de cada autor, que serão empregadas como referência ao longo da etapa de averiguação da legitimidade da assinatura. Feito isso, o próximo passo é o pré-tratamento dos dados, objetivando a eliminação de ruído, em seguida, é realiza a extração de características [1][7].

As características adquiridas das assinaturas autênticas, serão utilizadas quando se desejar verificar a veracidade de uma dada assinatura (Figura 1).

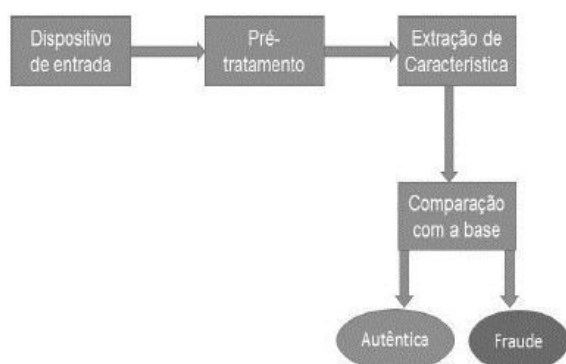


Figura 1: Etapas para verificação de uma assinatura

A Tabela 1 contém as principais técnicas empregadas em cada etapa do processo de classificação.

Etapa	Técnica	
Pré-tratamento	Filtragem	- Filtro morfológico
		- Filtro médio
	Compressão	- Filtro de integração
		- Filtro de subamostragem
		- Filtragem ponderada
	Binarização	- Limiarização de histograma
		- Filtragem

Extração de características	Diluição	- Algoritmo de Hilditch
	Globais	- Função densidade de probabilidade
		- Linha de base global
		- Análise espectral
		- ESC
		- Projeções e momentos das projeções
	Locais	- Centros de massa
		- Inclinação global
		- Descritor de formas
		- Pontos extremos
		- Análise topológica
		- Propriedades geométricas
Classificação	Estocástica	- HMM
		- Quantificação vetorial/máquinas de suporte vetorial
	Redes Neurais	- Rede acíclica (feedforward)
		- ADALINE
		- Perceptron multicamada
		- ART
		- Neocognitron
	Medidas de Distância	- Retro-propagação (backpropagation)
		- kNN
		- Classificador limiarizado
		- Emparelhamento elástico
		- Programação dinâmica
		- Distância Euclidiana

Tabela 1: Principais técnicas utilizadas em cada etapa do processo de classificação

3 Sistema Proposto

O projeto possui como objetivo classificar assinaturas independente da forma que foram obtidas. Então, a fim de se criar uma base de dados que contenha as características on-line de uma assinatura foi adquirido uma mesa digitalizadora Wacom modelo STU-530 e, conseqüente, desenvolvida uma ferramenta para o ambiente Windows (utilizando a linguagem Java e as bibliotecas fornecida pela fabricante) que permitisse a captura de assinaturas (on-line) genuínas e falsas. Possibilitando assim, uma análise detalhada da trajetória, bem como da força exercida, no processo de construção da assinatura.

A seguir, uma descrição das funcionalidades encontradas no software desenvolvido

3.1 Configuração

Para se adequar à variados cenários de teste, o sistema permite definir algumas diretrizes de configuração (Figura 12), são elas:

- Registro de usuário – Ao definir como sim, será necessário realizar o cadastro do usuário antes de iniciar a captura;
- Salvar tempo – Afirmando essa opção, o sistema irá salvar o tempo (em segundos) em que cada característica da assinatura foi capturada.
- Quantidade de capturas – Permite que o pesquisador indique a quantidade de assinaturas (autênticas e forjadas) que deseja capturar para cada autor.



Figura 2: Tela de configuração

3.2 Cadastro de usuário

Se na configuração do sistema for definido que para iniciar a captura da assinatura dever-se-á indicar um usuário, o sistema terá em seu menu a opção para tal fim (Figura 13).

A grande vantagem desta opção, é que permite ao pesquisador realizar capturas de assinatura em diferentes momentos, e assim, compreender as variações das informações obtidas (seja por condições psicofísicas ou idade).

Os dados de cada usuário, bem como seu histórico de capturas, são salvos em arquivos XML. Veja a Figura 14.



Figura 3: Tela gerenciamento de usuário

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<data>
  <user>
    <emailAddress>dsr@ecomp.poli.br</emailAddress>
    <birthdate>1988-05-14</birthdate>
    <gender>l</gender>
    <captures>
      <capture date="2015-11-01 12:32:30">
        <file>
          <imageFileName>1.png</imageFileName>
          <dataFileName>1.data</dataFileName>
          <filePath>.\signatures\with-user\dsr@ecomp.poli.br\genuine\l</filePath>
          <genuine>true</genuine>
        </file>
        <file>
          <imageFileName>2.png</imageFileName>
          <dataFileName>2.data</dataFileName>
          <filePath>.\signatures\with-user\dsr@ecomp.poli.br\genuine\l</filePath>
          <genuine>true</genuine>
        </file>
      </capture>
    </captures>
  </user>
</data>
```

Figura 4: Exemplo de XML com dados de um usuário, contendo o histórico de capturas, neste caso, a configuração indicava que cada captura deveria conter duas assinaturas.

3.3 Tela de captura

Enfim, a tela de captura. Ela funcionará conforme indicado na configuração do sistema. Se não for necessário o registro do usuário, após a captura das assinaturas genuínas, será inicializado automaticamente a obtenção das falsas, pois os registros são salvos em diretórios com numerações sequências, e um novo número é gerado ao atingir a quantidade de assinaturas definida. Diferentemente, quando se requer um usuário, a captura das assinaturas autênticas, ou forjadas, poderão acontecer conforme a necessidade do pesquisador (Figuras 15 e 16).

Com ou sem usuário, os dados salvos para cada assinatura on-line são:

- Informações do dispositivo (resolução, pressão máxima, máximo x e y, largura e altura da tela)
- Coordenada X
- Coordenada Y
- Pressão
- Tempo em segundos (opcionalmente)
- Imagem - gerada através da interpolação dos dados obtidos



Figura 5: Tela de captura sem o cadastro do usuário



Figura 6: Tela captura com o cadastro do usuário

4 Resultados preliminares

Como descrito anteriormente a criação da base de dados é um dos pilares quando se pretende desenvolver um sistema que verifica a autenticidade de uma assinatura. Por essa razão, os primeiros meses da iniciação científica tiveram enfoque total na confecção deste instrumento, e como efeito três tipos de base off-line estão disponíveis, visando atender o mais variado cenário.

Nos tópicos subsequentes, são descritos o procedimento de criação de cada base, e sua finalidade.

4.1 Cheques nacionais

O projeto teve à sua disposição um repositório de assinaturas (off-line), contidas em cheques nacionais, com inúmeras subscrições genuínas, pertencentes à cerca de quatro mil pessoas distintas identificadas por um número.

Com o propósito de criar um classificador que aprenda as divergências compreendida entre diferentes assinaturas de um mesmo autor, o repositório foi totalmente inspecionado, de tal modo que as assinaturas destoantes foram separadas.

Para exemplificar, considere que o usuário identificado pelo número 1, possui quatro assinaturas díspares, Figura 2, Figura 3, Figura 4 e Figura 5. É fácil perceber que a Figura 2 e a Figura 4 são semelhantes, bem como a Figura 3 e a Figura 5. Desta forma, as assinaturas do usuário 1 foram separadas em dois subconjuntos, 1-1 (contendo as Figuras 2 e 4) e 1-2 (contendo Figuras 3 e 5).

Miguel Silva

Figura 7: Primeira assinatura do usuário 1

Miguel da Silva

Figura 8: Segunda assinatura do usuário 1

Miguel Silva

Figura 9: Terceira assinatura do usuário 1

Miguel da Silva

Figura 10: Quarta assinatura do usuário 1

4.2 Assinaturas forjadas do dataset Sigwicom (2005)

A Sigwicom é uma competição internacional de algoritmos de classificação de assinaturas (on-line e off-line). Para o desafio de 2015, foram disponibilizadas duas bases de assinaturas off-line, italiana e bengalês.

Com as bases em mãos, foram criadas quatro assinaturas falsas para cada autor.

Abaixo, segue uma amostra deste processo, onde a Figura 6 e a Figura 7 correspondem a subscrições autêntica e forjada respectivamente.

ঐক্যজয়ন্তি রাস্তা

Figura 11: Assinatura bengalês autêntica

ঐক্যজয়ন্তি রাস্তা

Figura 12: Assinatura bengalês forjada

4.3 Documentos oficiais e cheques

Naturalmente, aguçou-se o interesse de simular uma situação ainda mais próxima de um ambiente real. Para isso, foi confeccionado réplicas de documentos oficiais brasileiros (CNH, RG e título de eleitor) e cheques, que serão utilizadas em futuros algoritmos de localização e segmentação de assinaturas.

A produção dessa base foi dada utilizando, mais uma vez, o dataset disponibilizado pela Sigwicom (edição 2015), e o resultado desta produção é ilustrado nas Figuras 8, 9, 10 e 11.



Figura 13: Réplica CNH



Figura 14: Réplica RG



Figura 15: Réplica título de eleitor

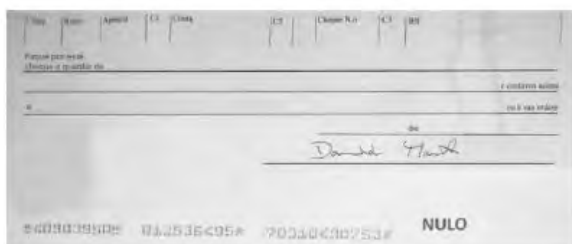
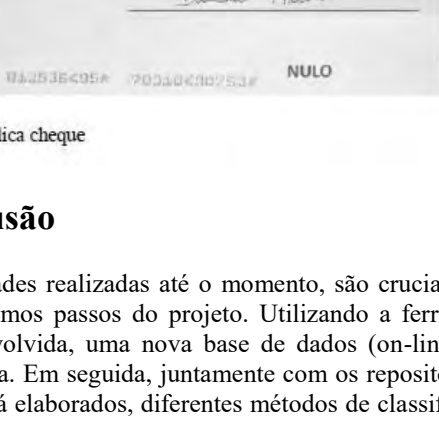


Figura 16: Réplica cheque

5 Conclusão

As atividades realizadas até o momento, são cruciais para os próximos passos do projeto. Utilizando a ferramenta desenvolvida, uma nova base de dados (on-line) será preparada. Em seguida, juntamente com os repositórios off-line já elaborados, diferentes métodos de classificação serão estudados e aplicados. Assim, os resultados obtidos nas distintas formas de captura (on-line e off-line) pertencerão a um quadro comparativo, permitindo uma compreensão minuciosa das propriedades contidas em uma assinatura. Por fim, pretende-se desenvolver um software que possibilite, de forma satisfatória, a verificação da autenticidade de uma assinatura, independente da sua origem.

Referências

- 
- Figura 16: Réplica cheque

Reconstrução 3D baseada em estereoscopia com a utilização de detectores de características

3D reconstruction based on stereoscopy utilizing feature detectors

Jonas Cordeiro do Nascimento Neto

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
jcnnet@ecomp.poli.br

Bruno José Torres Fernandes

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
bjtf@ecomp.poli.br

Resumo *A construção de mapas 3D é importante em diversas áreas do conhecimento, são algumas delas: topografia, exploração de terrenos desconhecidos, ambientes subaquáticos, em geral, onde a presença humana se torna inviável. Esse trabalho desenvolveu um modelo capaz de construir mapas 3D de um cenário, a partir de duas imagens 2D do mesmo ambiente com a utilização da estereoscopia, que torna possível o cálculo da distância que se encontram os objetos no cenário. A pesquisa também teve o objetivo de comparar os algoritmos: Scale Invariant Feature Transform (SIFT)[15], Speed Up Robust Features (SURF)[13] e Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB)[16] no processo de identificação de pontos nas imagens, e os algoritmos: Localitysensitive hashing (LSH), k-d tree e BruteForce no processo de correlação dos pontos identificados. Foram obtidas duas imagens do mesmo cenário com uma pequena distância entre elas e foram aplicados algoritmos de identificação de pontos, em seguida, foram aplicados algoritmos para correlacioná-los, após esse processo, foram utilizadas técnicas estatísticas para remoção de falsas correlações, por fim, através de geometria epipolar foi calculada a distância de cada ponto para a câmera e foi construído o mapa 3D. Durante a comparação dos algoritmos utilizados, foram analisados fatores como: número de pontos correlacionados corretamente, distribuição espacial dos pontos correlacionados e tempo de execução.*

Palavras-Chave: Estereoscopia; Reconstrução 3D; Detetor de Característica; Visão Computacional

Abstract *The 3D map construction is important in many study fields, some of those are: topography, unknown land exploration, subaquatic environments, in general, places where the human presence becomes inviable. This study developed a model capable of built 3D maps of a scene[1], from two 2D images of the same enviroment using stereoscopy, which makes possible the distance calculus of the objects in the scenario. The research also had the objective of comparing algorithms: Scale Invariant Feature Transform (SIFT)[2], Speed Up Robust Features (SURF) [3] and Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB) [4] in the process of identification points in the images, and the algorithms: Locality-sensitive hashing (LSH), k-d tree and BruteForce in the process of correlation of the identified points. Two images were obtained of the same scenario with a small distance between them, and were applied the algorithms for point identefication, then, were applied algorithms to the point correlation, after those processes were utilized elastic techniques to remove false correlations, then, using epipolar geometry was calculated the distance between the each point and the camera, and the 3D map was built. During the algorithm comparisons factors like: number of points correctly correlated, spacial distribution of the correlated points and execution time were analysed.*

Keywords: Stereocopy, 3D Reconstruction, Feature Detector, Computer Vision

1 Introdução

A construção de mapas 3D é importante em várias linhas de pesquisa e áreas do conhecimento, são algumas delas: topografia, na exploração de terrenos desconhecidos[1], exploração e reconhecimento do ambiente de outros planetas[2] ambiente subaquáticos[3] em geral, onde a presença humana se torna inviável.

As últimas décadas foram marcadas pelo rápido crescimento da tecnologia do escaneamento 3D, entre as quais destacam-se: câmeras estereoscópicas[4] câmeras LIDAR (Câmeras de Light Detection and Raging[5] e o Microsoft Kinect[6].

Esse trabalho visa à investigação do modelo de Visão estereoscópica com o auxílio de algoritmos de detecção e correlação de características, para serem aplicados na rea de mapeamento e reconstrução 3D. Utilizaremos ainda o algoritmo RANSAC para refinar os resultados.

A estereoscopia é uma técnica que possui motivação biológica, com sua atuação seguindo os mesmos princípios que regem a formação da imagem 3D pelo olho humano, de forma computacional, é feita utilizando um par de câmeras digitais posicionadas do a lado. As imagens captadas deverão estar direcionadas para um mesmo local, com isso terão pequenas diferenças entre si, essas diferenças são conhecidas como disparidades. Através dessas disparidades pode-se calcular a profundidade de um determinado ponto encontrado no cenário e montar um mapa 3D a partir disso.

Um problema enfrentado para o uso da estereoscopia é encontrar o mesmo ponto em ambas as imagens[7], uma das soluções encontradas tem como base achar pontos de interesse na primeira imagem e na segunda imagem, em seguida buscar tentar combiná-los, porém mudanças de iluminação, escala e rotação acabam dificultando a marcação desse mesmo ponto, ou aumentando o custo computacional[8]. Para resolver esse problema a ideia é utilizar algoritmos detectores de características como o SIFT, SURF e ORB para marcar o mesmo ponto de interesse nas duas imagens, independente da mudança de escala, rotação ou iluminação.

2 Técnica Proposta

Neste artigo é proposta uma abordagem específica para realização de uma reconstrução 3D, baseando-se, primeiramente na técnica da estereoscopia[9], onde simulasse a visão humana com duas câmeras alinhadas, mas com angulações diferentes, a partir dessas câmeras obtém-se duas imagens, uma esquerda e outra direita. Após a aquisição das imagens o algoritmos de detecção de características

são aplicados, definindo pontos de interesse em ambas as imagens, feita a identificação desses pontos de interesse, um algoritmo para correlação dessas características é aplicado, em seguida, é aplicado o algoritmo do RANSAC que elimina correlações erradas que não seguem um padrão e por fim é feito o cálculo das disparidades. O fluxograma abaixo resume os passos utilizados neste trabalho para a reconstrução 3D:



Figura 1: Fluxograma de representação da técnica proposta.

2.1 Visão Estereoscópica

A visão computacional é formada por algoritmos que retiram informações a partir de imagens para aplicações específicas como o reconhecimento de cores ou de objetos. A visão estereoscópica é uma subárea da visão computacional que possui motivação biológica, baseando-se na visão humana, em que para enxergar um ponto, os dois olhos devem estar fixados neste, de maneira que eles apontem diretamente para o ponto em questão, para essa simulação, um hardware deve ser dotado de duas câmeras capturando imagens de pontos distintos, simulando a noção geométrica da visão.

Para a sensação de profundidade de um objeto[10], é feita uma análise matemática baseada no modelo representado na figura 2, utilizando-se artifícios de triangulação e trigonometria, com seus valores descritos de acordo com a tabela 1.

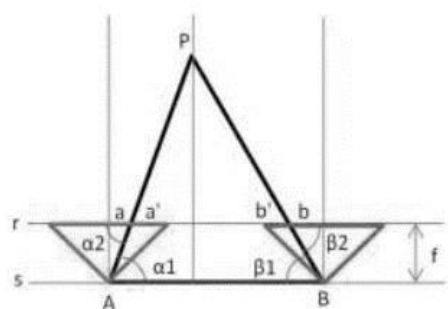


Figura 2: Representação do posicionamento das câmeras e do ponto de interesse.

Simbolo	Legenda
A	Posição da Câmera Esquerda
B	Posição da Câmera Direita
f	Distância Focal das Câmeras
X	Distância entre as Câmeras
P	Ponto de Interesse
Xe	Distância do ponto P projetado no plano da imagem esquerda, até a origem
Xd	Distância do ponto P projetado no plano da imagem direita, até a origem
D	Distância do ponto P ao plano formado pelas duas câmeras

Tabela 1: Símbolos e Notações

Após algumas análises, e desenvolvimento de equações, Ribeiro et. Al[7] chegou a equação 1 que descreve a distância de um ponto de interesse ao plano que se encontram as duas câmeras, sendo possível então utilizarmos essa informação para sabermos a profundidade desse ponto até onde a imagem foi tirada.

$$D = \frac{fX}{|Xe - Xd|} \quad (1)$$

Reconstrução 3D[11] é um conjunto de técnicas e métodos para transformar dados em imagem através de um dispositivo gráfico. Neste artigo iremos tratar da reconstrução 3D como sendo a utilização da técnica de estereoscopia para transformar uma imagem em um mapa de pontos 3D.

Dessa forma, utilizando a equação 1 e as imagens da figura 3, fazendo uso da técnica da estereoscopia, é possível construir um mapa de pontos 3D do cenário.

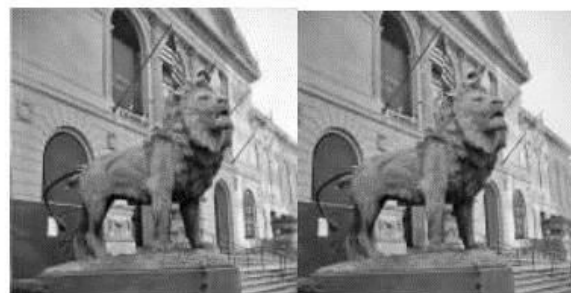


Figura 3: Imagens exemplo para a reconstrução 3D.

2.2 Identificação de Pontos de Interesse

Para utilizar a técnica de estereoscopia faz-se necessário a identificação de um mesmo ponto nas duas imagens e correlacioná-los[12]. Os pontos de interesse são, portanto, pontos candidatos a correlação, de modo que possam ser localizados nas duas imagens. É necessário a marcação de vários pontos de interesse para tentar correlacioná-los nas duas imagens.

A estereoscopia enfrenta algumas adversidades, entre elas estão a oclusão de pontos e a marcação e correlação dos mesmos pontos nas duas imagens.

A oclusão de pontos ocorre quando na imagem obtida por uma das câmeras é possível a identificação de um certo ponto, mas na imagem obtida pela segunda câmera não é possível encontrar o mesmo ponto, tornando-o ocluso, problema até então, não solucionado.

O problema da correlação dos mesmos pontos em ambas as imagens pode se dar de duas formas, a partir da não identificação do mesmo ponto nas duas imagens e da afirmação que um ponto de uma imagem é o mesmo ponto na segunda imagem.

Para solucionar o problema da marcação do mesmo ponto nas duas imagens são utilizados vários pontos de interesse para aumentar as chances de sucesso na correlação dos pontos.

Para se encontrar os pontos de interesse, diversas técnicas podem ser utilizadas, tais como a identificação por cor, máxima variância, quinas ou luminosidade.

Nesse trabalho, 3 diferentes algoritmos de identificação de características vão ser utilizados:

- Scale Invariant Feature Transform (SIFT)
- Speed Up Robust Features (SURF)
- Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB)

Na figura 4 pode ser visualizado o resultado da aplicação do algoritmo SURF.



Figura 4: Imagens após aplicação do algoritmo SURF.

2.3 Correlação dos Pontos de Interesses

Após a eleição de diversos pontos de interesse o mesmo devem ser propriamente correlacionados com a maior precisão possível para que se possa efetuar os cálculos de profundidade com precisão.

Duas abordagens podem ser utilizadas para a realização da correlação dos pontos de interesse, a primeira abordagem consiste em achar pontos de interesse apenas na primeira imagem e procurar seus correspondentes na segunda imagem, porém esse processo torna-se custoso devido a quantidade de combinações existentes, a segunda consiste em encontrar pontos de interesse em ambas as imagens e depois tentar correlacioná-los, contudo alguns pontos encontrados podem não ter um par correto.

Nesse trabalho será utilizada a segunda abordagem, que é mais compatível com a função empregada pelo algoritmo detectores de características para encontrar os pontos de interesse, isso se dá devido ao seu bom desempenho mesmo com mudanças de escala, rotação, iluminação ou transformações geométricas[8], com a comparação de 3 técnicas:

- BruteForce
- Locality Sensitive Hashing (LSH)
- k-D Tree.

2.4 RANSAC

Após a etapa de correlação dos pontos alguns pares de pontos podem estar fora do padrão, essas correlações equivocadas afetam o cálculo de disparidades que por sua vez pode resultar em uma reconstrução 3D que foge ao padrão ideal.

O algoritmo do RANSAC (Random Sample Consensus) [14] é um método iterativo para estimar parâmetros de um modelo matemático, na perspectiva adotada pela reconstrução 3D nesse artigo o algoritmo do RANSAC realiza um aprimoramento do resultado das correlações de pontos de interesse.

O algoritmo do RANSAC foi utilizado para realizar um refinamento do resultado, eliminando as correlações outliers, de modo que dado um conjunto de pontos correlacionados, o algoritmo procura estabelecer um modelo matemático que agrupe o maior número de pontos (inliers), excluindo os pontos que tiveram a correlação fora do padrão (outliers) como pode ser visto na figura 5.

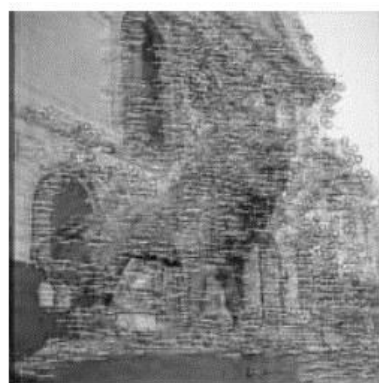


Figura 5: Correlação entre as duas imagens após aplicação do algoritmo RANSAC.

3 Resultados

Para comparação dos algoritmos, foram analisados fatores como:

- Número de pontos correlacionados corretamente;
- Distribuição espacial dos pontos correlacionados;
- Tempo de execução do processo;

As seguintes combinações de algoritmos de detecção e correlação de características existentes na biblioteca OpenCV[17] foram executadas :

- SIFT + BruteForce
- SIFT + k-d Tree
- SURF + BruteForce
- SURF + k-d Tree
- ORB + BruteForce

- ORB + LSH

Os resultados podem ser vistos na figura 6 e nas tabelas 2 e 3.

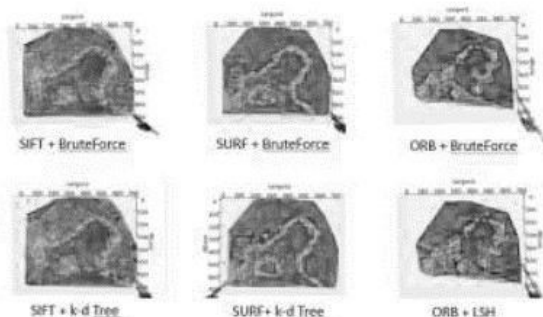


Figura 6: Resultados da Reconstrução 3D

Símbolo	SIFT + BruteForce	SURF + BruteForce	ORB + BruteForce
Pontos identificados na Imagem 1	3506	3936	3500
Pontos identificados na Imagem 2	3266	3936	3500
Pontos Correlacionados	3266	1385	1421
Tempo de Execução (s)	2,18	1,94	0,58

Tabela 2: Resultados das combinações: SIFT + BruteForce, SURF + BruteForce e ORB + BruteForce

Símbolo	SIFT + k-D Tree	SURF + k-D Tree	ORB + LSH
Pontos identificados na Imagem 1	3506	3936	3500
Pontos identificados na Imagem 2	3266	3936	3500
Pontos Correlacionados	1377	1385	1445
Tempo de Execução (s)	1,92	1,67	0,453

Tabela 3: Resultados das combinações: SIFT + k-D Tree, SURF + k-D Tree e ORB + LSH

4 Conclusão

Este trabalho apresentou um modelo para reconstrução 3D utilizando a técnica da estereoscopia aliada aos algoritmos de detecção e correlação de características já para identificar pontos de interesse e o RANSAC para refina resultados.

Um dos problemas apresentados para a técnica de estereoscopia foi a marcação de pontos de interesse, em que foi utilizada uma abordagem que marca pontos de interesse nas duas imagens e tenta correlacioná-los.

Outro problema explanado foram os outliers, correlações equivocadas realizadas pelas correlações, e que foram removidas com o algoritmo do RANSAC que estima parâmetros para as correlações e remove as que fujam a esse padrão.

A combinação ORB+LSH foi a que mais correlacionou pontos de interesse e a mais rápida em tempo de execução, porem a dispersão dos pontos correlacionados foi muito concentrada, tornando o mapa final mais centrado em algumas regiões, é indicado para aplicações que necessitem de uma construção rápida do mapa.

A combinação SURF + k-D Tree foi um pouco mais lenta que a combinação acima, porém possuía uma distribuição espacial mais dispersa, tornando o mapa final mais detalhista, indicado para aplicações em que o mapa construído precisa fornecer informações sobre o maior número possível de objetos no cenário e o tempo não é um fator determinante.

Referências

- [1] Kapoutsis, A.C., C.S.D.L.B.d.S.J.e.K.E.: Autonomous navigation of teams of unmanned aerial or underwater vehicles for exploration of unknown static dynamic environments. In: 21st Mediterranean Conference on Control Automation (MED). (2013), pp.1181-1188
- [2] Salamunicar, G., L.S.G.A.e.W.C.: Hybrid method for detection of lunar craters based on topography reconstruction from optical images. In: 2011 7th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA). (2011). pp.597-602.
- [3] Nygren, I e Jansson, M.: Terrain navigation for underwater vehicles using the correlator method. In: IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol

- 29.(2004) pp. 906-915.
- [4] S. Liu, L.Z.e.J.L.: The applications and summary of three dimensional reconstruction based on stereo vision. In: International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering, IEEE (2012) pp. 620-623.
- [5] Khattak, S.R.; GAMERLab. U.o.O.I.o.T.O.O.C..B.D..H.A.: Reconstructing 3d buildings from lidar using level set methods. In: Computer and Robot Vision (CRV), 2013 International Conference on, IEEE (2008) pp.151-158.
- [6] J. Han, L. Shao, D.X.e.J.S.: Enhanced computer vision with microsoft Kinect sensor: A review. In: IEEE Transactions on Cybernetics, vol. 43, IEEE (2013). Pp.1318-1334.
- [7] Ribeiro, G.P.E.: Estereoscopia no cálculo de distância e controle de plataforma robótica. (2012).
- [8] Szczuko, P.: Inuence of image transformations and quality degradations on surf detector e ciency. In: Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA), IEEE (2013). pp.285-290.
- [9] McAllister, D.F.: Stereo and 3-d display technologies. In: Encyclopedia of Imaging Science and Technology, John Wiley Son. (2002) pp.1327-1344.
- [10] Lipton, L.: Foundations of the stereoscopic cinema a study in depth. In: Van Nostrand Reinhold Company. (1982)., 1991.
- [11] Foley, J.D.: Introduction to computer graphics. In: Addison-Wesley. (1993)
- [12] Galindo, J.R.F.: Analise da reconstrucao 3d a partir de um par estereoscopico hrccd/cbers-2, usando dois modelos matematicos. In: Disserta de Mestrado,UNESP (2008).
- [13] H. Bay, A. Ess, T.T., Gool., L.V.: Surf: Speeded up robust features. In: Computer Vision and Image Understanding. (2008). pp.346-359.
- [14] Fischler, M., Bollers., R.: Random sample consensus: a paradigm for model setting with applications to image analysis and automated cartography. In: Communications of the ACM. (1981). pp.381-395.
- [15] Lowe, David G. Object recognition from local scale-invariant features. Proc. 7th International Conference on Computer Vision (ICCV'99) (Corfu, Greece): 1150-1157
- [16] E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, and G. R. Bradski, "Orb: An efficient alternative to sift or surf," in ICCV'11, 2011, pp. 2564–2571
- [17] OpenCV (Open Source Computer Vision). Disponivel em:<http://opencv.org/>

Reconhecimento de Veículos em ambientes externos através do processamento de imagens

Vehicle recognition in External Environments through Image Processing

Rebeca Sarai Aguiar da Silva
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
rsas@ecomppoli.br

Resumo *Esse projeto de pesquisa visa auxiliar o desenvolvimento de um sistema local de baixo custo, que independente das condições externas possa monitorar o fluxo de veículos em cruzamentos. Utilizando-se de técnicas de processamento digital de imagens, reconhecer veículos e a partir disso, em situações de necessidade, tomar decisões. Em uma abordagem simplificada, são apresentados métodos computacionais para detecção de veículos em ambientes urbanos. As soluções nesse trabalho foram implementadas com o VisualStudio C++ e utilizam a biblioteca OpenCV da Intel, para realizar o reconhecimento. São apresentadas soluções para dois tipos de entradas: imagem e vídeo. O resultado dos algoritmos encontrados para reconhecimento de automóveis em imagens se mostram mais acessíveis aos objetivos dessa pesquisa. No entanto também é proposta uma solução utilizando um algoritmo de reconhecimento em vídeos.*

Palavras-Chave: *Detecção de veículos, OpenCV, imagens, reconhecimento, processamento*

Abstract *This research project aims to assist the development of a local system of low cost, independent of external conditions can monitor the flow of vehicles at intersections. Using digital image processing techniques to recognize vehicles and from that, in situations of need, make decisions. In a simplified approach, computational methods are presented to detect vehicles in urban environments. The solutions in this work have been implemented with VisualStudio C++ and using the OpenCV library, to achieve recognition. Solutions are presented for two types of entries: image and video. The result of the algorithms found for reconnaissance vehicles in images are more accessible to the objectives of this research. However it is also proposed a solution using a recognition algorithm in videos.*

Keywords: *Detection of vehicles, OpenCV, images, recognition, processing*

1 Introdução

Nos últimos anos devido a falta de um sistema de transporte público e a diminuição dos preços de automóveis, a frota de veículos nas grandes cidades vem crescendo anualmente. Ao mesmo tempo não são implementadas políticas públicas que acompanhem esse significativo aumento da quantidade de veículos. As consequências dessa falta de planejamento são engarrafamentos diários e a superlotação dos transportes públicos disponíveis, que por suas vez causam, ansiedade, estresse, acidentes, violência, entre outros.

Surge a necessidade de uma mudança no planejamento urbano, mas grandes obras tornam-se apenas mais um problema, principalmente por causa do tempo que levam até serem concluídas. Nesse meio tempo, uma obra que deveria melhorar o trânsito, só o deixa pior.

Como solução este projeto expõe técnicas de processamento de imagens que podem ser utilizados da construção de um sistema autônomo de baixo custo para o monitoramento do fluxo de veículos em cruzamentos urbanos. Que com base nas informações obtidas toma decisões, com o objetivo de desafogar o trânsito.

2 Materiais e Métodos

Existem diferentes abordagens na literatura que exploram a detecção e o reconhecimento de veículos. Em [5] se realiza uma comparação entre objetos processados e objetos de uma base de dados inicial. O método apresentado em [3] propõe melhorias na obtenção de características para uso geral, por meio da otimização da subtração de cenário e uso da diferença simétrica entre frames consecutivos.

Também existem abordagens híbridas, que além da visão computacional buscam outros meios de otimizar o reconhecimento e a detecção, tais como o uso de sensores baseados em laser [8]. Além disso, [17] traz uma densa revisão do campo da detecção de veículos, com o foco em sistemas onde a câmera está localizada no próprio veículo, exibindo e discutindo a direção de diferentes abordagens.

Outra revisão [20], traz um estudo sobre diferentes técnicas de segmentação e seleção de regiões de interesse, técnicas para detecção e reconhecimento de veículos e remoção de sombras, com o foco em abordagens que utilizam câmeras estáticas, voltadas para o monitoramento ativo do trânsito. Entre os métodos para a contagem volumétrica, podemos destacar [4], [18], [2] e [15], que trazem abordagens utilizando câmeras de monitoramento estáticas.

Em [4] é feito um rastreamento dos veículos por todo o frame, utilizando características espaciais e temporais para o reconhecimento, com uma contagem simples de cada novo objeto válido encontrado.

Em [18] é feita uma abordagem simplificada com uso específico em rodovias, ainda assim apresentando um módulo proposto para o reconhecimento de veículos a partir de um conjunto de treinamento inicial. O rastreamento de objetos é realizado em todo o frame e os veículos novos são contabilizados, com taxas de acerto entre 94.89% e 96.10%. Em [2] é feito o rastreamento apenas nos pontos de interesse das vias observadas.

Em [6] [7] redes neurais são aplicadas para detecção de veículos. Mas há dois grandes problemas com a rede neural: que não há qualquer garantia de atingir o mínimo global e um segundo implica que define um conjunto de dados representativo do mundo real e que não existe um modelo ideal de rede neural. Em [11] são utilizadas medidas fuzzy para detectar veículos. Valor de intensidade de luz é utilizado como medida difusa. Quando o valor de intensidade cai em certo intervalo, medidas distorcido tem de ser utilizada para decidir se é um veículo ou não. Em [9] fuzificação de área e circunferência é feito para a classificação de cada tipo de veículo (por exemplo, pequeno, médio e grande) é atribuído com uma faixa de medição de valores através da concepção de regras difusas e, finalmente, a defuzificação é feita. Em [10] é discutida uma abordagem de segmentação usando o fundo de adaptação subtração.

3 Reconhecimento de Veículos

3.1 Reconhecimento de Veículos em imagens

Utilizou-se o Recurso Haar baseado em um Classificador Cascade para detecção do objeto. O recurso foi proposto inicialmente por Paul Viola e melhorado por Rainer Lienhart. Um classificador (ou seja, uma cascata de classificadores impulsionados de trabalho com características Haar semelhantes) é formado com algumas centenas de vistas amostrais de um objeto em particular (isto é, um rosto ou um carro), chamado exemplos positivos, que são dimensionados para a mesmo tamanho (por exemplo, 20x20), e exemplos negativos - imagens arbitrárias do mesmo tamanho.

Depois de um classificador é treinado para ser aplicado em uma região de interesse (do mesmo tamanho que o utilizado durante a formação). O classificador produz um "1" se a região é susceptível de mostrar o objeto (ou seja, face/carro), e "0" caso contrário. Para procurar o objeto em toda a imagem pode-se mover a janela de busca em toda a imagem e verificar cada local usando o classificador. O classificador está concebido de modo que possa ser facilmente "redimensionado", a fim de ser capaz de localizar os

objectos de interesse em tamanhos diferentes, o que é mais eficiente do que o redimensionamento da imagem propriamente dita. Assim, para encontrar um objeto de um tamanho desconhecido na imagem o procedimento de verificação deve ser feito várias vezes em diferentes escalas.

Vários classificadores foram usados para testes. Alguns se mostraram eficientes para carros em algumas posições específicas, mas nenhum se mostrou eficiente em situações normais de trânsito.



Figura 1



Figura 2



Figura 3

Como os resultados não foram completamente satisfatórios com os classificadores encontrados foi notada a necessidade de treinar um classificador que atendesse as necessidades desse trabalho. Mas não havia banco de dados para treino do classificador. Fez-se necessária a criação de um banco de dados com imagens de carros nas mais variadas posições.

3.2 Reconhecimento de Veículos em vídeos

A ideia inicial do projeto era desenvolver uma ferramenta para realizar a contagem volumétrica de veículos em tempo real. Porém, devido à grande complexidade de desenvolver um projeto de contagem de propósito geral, foram feitas algumas simplificações com o objetivo de viabilizar a implementação. Essas simplificações dizem respeito à aquisição de imagens, ao cenário e aos objetos.

Aquisição de imagens: Deve ser realizada através da leitura de arquivos de vídeo previamente armazenados, pois o algoritmo não possui uma eficiência computacional suficiente para lidar com vídeos em tempo real.

O cenário: Deve ser preferencialmente estático, apesar de o sistema ser capaz lidar razoavelmente bem com movimentações suaves, mas é fundamental que a câmera esteja posicionada de modo que ofereça uma visão superior da via. Esta escolha de cenário tem o propósito de evitar a ocorrência de oclusões e simplificar o processo de segmentação da imagem e tratamento dos objetos.

Os objetos: Foi feita uma generalização dos objetos, ou seja, todos os objetos são considerados veículos. Como estamos utilizando um cenário e vídeos específicos, esta é uma generalização válida, que possibilita um processo de reconhecimento mais simples.

Foi utilizada a biblioteca OpenCV [14] para a manipulação e segmentação da imagem. Para a manipulação, as funções básicas da biblioteca foram utilizadas, que permitem a leitura, o acesso, a escrita e a apresentação das imagens.

A segmentação consiste em utilizar técnicas que exploram algumas propriedades da imagem, a fim de subdividir a imagem em regiões ou objetos que a compõem, dependendo do problema a ser resolvido. [12] Nesse caso subdividir cada frame do vídeo em dois tipos de regiões: cenário e objetos móveis. Uma abordagem simples para a detecção destes objetos é a subtração de uma imagem de cenário do frame atual.



Figura 4 - Original



Figura 7



Figura 5 - MOG2



Figura 6 - Imagem Binária

Os resultados em diferentes ambientes e em vídeos com resolução maior, não foram tão satisfatórios, como os apresentados nas figuras 4, 5, 6 e 7.

Como aplicação desse algoritmo. É proposto uma composição desse algoritmo para controle de tráfego. Tal composição reconhece movimento em duas vias, seleciona as áreas de interesse em ambas e retorna a que existe mais tráfego, através de uma contagem de pixels. A contagem pode variar de acordo com o lugar, o horário, o fluxo de carros e várias outras situações. A solução mais simples seria mapear as informações e dividi-las em categorias: fluxo intenso, fluxo normal e pouco fluxo, então a partir dessas informações pré-definidas, tomar a decisão de liberar ou reter o trânsito.

4 Framework

O sistema foi desenvolvido no VisualStudio C++ e utiliza a biblioteca OpenCV da Intel. A versão do OpenCV utilizada foi a 2.4.10. Os resultados experimentais estão demonstrados em vídeos de tempo real feitos a partir de uma câmara única. Os testes foram feitos em um notebook Intel Core i5 – 2.60 GHz com 4,00GB de RAM e Windows 8.1.

5 Conclusão

Os resultados obtidos foram promissores, possibilitando uma utilização prática do método dentro do contexto proposto. Algumas experiências com vídeos de menor resolução mostraram ganhos significativos em desempenho de processamento. No entanto, otimizações [16] ainda devem ser realizadas com o objetivo de tornar o algoritmo cada vez mais genérico.

Espera-se que a integração das técnicas aplicadas em um ambiente em tempo real proporcione um protótipo de

um software para auxiliar o controle de tráfego em rodovias de maneira eficiente.

Referências

- [1] Annamraju A. K., *A gateway to robotic vision*, em: <http://abhishek4273.com/> Acessado em 14/11/2015.
- [2] Bas, E., Tekalp, M. e Salman, F. S., *Automatic vehicle counting from video for traffic flow analysis*, 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 392-397, 2007.
- [3] Cao, J., Wang, W. e Liang, Y., *An improved detection algorithm of moving vehicles based on computer vision*, IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems 2009, ICIS 2009, pp. 20-24, 2009.
- [4] Chen, T., Lin, Y., Chen, T., *Intelligent vehicle counting method based on blob analysis in traffic surveillance*, 2007 Second International Conference on Innovative Computing, Information and Control, ICICIC'07, 2007.
- [5] Du, Y., Liu, C. e Shi, W., *A real-time vehicle recognition method based on video sequence images*, The Ninth International Conference on Electronic Measurement & Instruments, CEMI'2009, 2009.
- [6] Gonzalez, R. C. e Woods, R. E., *Digital Image Processing, 2/E*, Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- [7] Ha, D., Lee, J. and Kim, Y. (2004) Neural-Edge-Based Vehicle Detection and Traffic Parameter Extraction. *Image and Vision Computing*, 22, 899-907. <http://dx.doi.org/10.1016/j.imavis.2004.05.006>
- [8] Huang, L. e Barth, M., *Tightly-coupled LIDAR and computer vision integration for vehicle detection*, 2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 604-609, 2009.
- [9] Jain, I. and Rani, B. (2010) Vehicle Detection Using Image Processing and Fuzzy Logic. *International Journal of Computer Science & Communication*, 1, 255-257.
- [10] Karma, K. and von Brandt, A. (1990) Moving Object Recognition Using an Adaptive Background Memory. In: Capellini, V., Ed., *Time-Varying Image Processing and Moving Object Recognition*, Elsevier Publishers B.V., Amsterdam, 297-307.
- [11] Liu, Z., Li, X. and Leung, X. (2001) Fuzzy Measures for Vehicle Detection. *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Melbourne, 2-5 December 2001, 848-851.
- [12] Mantri, S. and Bullock, D. (1995) A Neural Network Based Vehicle Detection and Tracking System. *Proceedings of the Twenty-Seventh Southeastern Symposium on System Theory*, Starkville, 12-14 March 1995, 279-283.
- [13] *Mare's Computer Vision Study*, em: <http://study.marearts.com/p/me.html> Acessado em 14/11/2015.
- [14] OpenCV: Open Source Computer Vision. Disponível em: <http://opencv.org/> Acessado em 14/11/2015
- [15] Pang, C. C. C., Lam, W. W. L. e Yung, N. H. C., *A method for vehicle count in the presence of multiple-vehicle occlusions in traffic images*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 8, pp. 441-459, Tokyo, 2007.
- [16] Sharma, B., Katiyar V., Gupta A., Singh A., *The Automated Vehicle Detection of Highway Traffic Images by Differential Morphological Profile*, 2014 Journal of Transportation Technologies, 2013, 4, pp150- 156, 2014.
- [17] Sun, Z., Bebis, G. e Miller, R., *On-road vehicle detection: A review*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 28, pp. 694-711, 2006.
- [18] Tamersoy, B., Aggarwal, J. K., *Counting vehicles in highway surveillance videos*, 2010 20th International Conference on Pattern Recognition, ICPR, pp. 3631-3635, 2010.
- [19] Tannús H., Soares V., Costa R., *Técnicas de processamento digital de imagens aplicadas na contagem volumétrica de veículos*, Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás.
- [20] Wang, G., Xiao, D. e Gu, J., *Review on vehicle detection based on video for traffic surveillance*, 2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics, ICAL 2008, pp. 2961-2966, Qingdao, 2008.

Projeto e Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento dos Níveis de Pressão Sonora

Project and Development of a Sound Pressure Level Monitoring

Gabriel Cysneiros Bezerra Carvalho Oliveira

Escola Politécnica de Pernambuco

Universidade de Pernambuco

50.720-001 - Recife, Brasil

gabrielcbco@live.co

Resumo *O presente artigo descreve a construção de um sistema de monitoramento do nível de pressão sonora em ambiente hospitalar utilizando a plataforma do Arduino que emite um sinal luminoso quando o nível recomendado pela NBR 10.152 é ultrapassado. Os dados obtidos são armazenados em um cartão SD afim de que sejam estudados e encontradas soluções para reduzir barulhos em hospital. Apresenta os resultados dos primeiros testes realizados.*

Palavras-Chave: *Pressão Sonora, Ambiente Hospitalar, Arduino. Decibelímetro*

Abstract *This article describes the assembling of a sound level pressure monitoring system in a hospital room using the Arduino platfor that sends a light signal whem the recommended limit on NBR 10.152 is exceeded. Data is stored on a SD card to further studies to find solutions to reduce noise in hospital rooms. First results are presented.*

Keywords: *Sound Pressure Level, Hospital Room, Arduino. Decibelmeter*

1 Introdução

A poluição sonora ambiental não é um problema recente e hoje em dia torna-se onipresente, chegando a beirar o intolerável. Quase não há locais livres do excesso de ruído, podendo expor-se a ele dentro de casa, na rua, no trabalho e em vários outros locais.

Um local que parecia estar livre da ocorrência deste tipo de poluição seria os hospitais, porém, em uma cidade grande, torna-se quase impossível isolá-los de fontes de ruído externo como o trânsito de grandes avenidas, carros de som, etc. Entretanto, muito do ruído hospitalar provém de dentro do próprio hospital, gerados pelas conversações da equipe hospitalar e também pelos equipamentos dotados de alarmes sonoros essenciais para alertar médicos e enfermeiros sobre as mudanças nas condições clínicas de seus pacientes, ou mau funcionamento do equipamento. Assim, um ambiente que deveria ser sinônimo de descanso torna-se um ambiente inadequado para o mesmo, como mostra estudo conduzido em hospital no Paraná [1].

Além do mais, a exposição ao ruído intenso está associada a várias manifestações sistêmicas tais como aumentar a sensibilidade do paciente à dor, aceleração da frequência cardíaca e respiratória e dificultar a sedação do paciente, pois o mesmo sentirá mais dificuldade para dormir [2]. Por isso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define, na NBR 10.512, que o ruído dentro de apartamentos, bercários, centro cirúrgicos e enfermarias deve estar entre 35 e 45 dB [3].

2 Objetivo

Desenvolver um sistema de monitoramento dos níveis de pressão sonora em ambientes hospitalares, armazenando os dados em um cartão de memória e emitindo um sinal luminoso quando o limite aceitável for ultrapassado, detectar os motivos pelos quais esse limite é ultrapassado e estudar maneiras de solucioná-los.

3 Método

O sistema capta o ruído através de um microfone tipo dinâmico com padrão polar supercardióide. Esse gera uma resposta muito baixa [4], que precisa ser amplificada e passar por uma filtragem ponderada do tipo A [5], que enfatiza as frequências de 1kHz a 5kHz (onde o ouvido humano é mais sensível), conforme a Figura 1 [6]. A seguir, o sinal entrará no Arduino e será retificado [7], pois o mesmo não suporta tensões negativas. Um programa irá transformar o sinal recebido em decibéis seguindo o fluxograma mostrado na Figura 2. A fórmula para transformar o sinal de entrada em

decibel é mostrada na equação (1). Porém, como o Arduino não possui uma biblioteca que nos auxilie na resolução de integral, a mesma é calculada utilizando a equação (2).

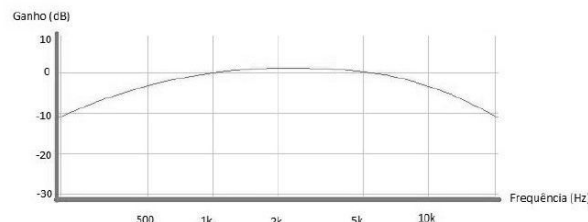


Figura 1 - Resposta em frequência para o filtro ponderado tipo A



Figura 2 - Fluxograma do código no Arduino

$$N(dB) = 10 \log \left(\frac{\int_0^T Vin^2(t) dt}{\int_0^T Vref^2(t) dt} \right) \quad (1)$$

$$\int_0^T Vin^2(t) dt = \Delta T \sum_{i=1}^N \frac{Vin^2(t_{i-1}) + Vin^2(t_i)}{2} \quad (2)$$

A tensão de referência V_{ref} é obtida durante o processo de calibração. Nesse processo, o valor em decibel obtido no Arduino é comparado com os valores em um decibelímetro digital HDR 822, fabricado pela Hikari (Figura

3) e outro decibelímetro DL 4200, fabricado pela Icel (Figura 4), ambos com calibração de fábrica. Então, fazendo uma manipulação matemática na equação (1), temos que:

$$10\log V_{ref} = N(\text{dB}) - 10\log V_{in} = C \quad (3)$$

Onde, na equação (3), $N(\text{dB})$ é o valor obtido pelo decibelímetro e $10\log V_{in}$ é obtido pelo valor do Arduino. Dessa forma, o termo à direita da equação (3) é uma constante conhecida e pode ser chamada de C . Assim, o valor final de V_{ref} é dado pela equação (4).

$$V_{ref} = 10^{C/10} \quad (4)$$



Figura 3 - Decibelímetro HDR 822, fabricado pela Hikari



Figura 4 - Decibelímetro DL 4200, fabricado pela Icel

Com o sistema calibrado, é necessário então associar o valor obtido com o horário em que ele foi coletado. Para isso, utilizou-se um módulo RTC (Real Time Clock da Figura 5) que usa um programa no Arduino para retornar a hora, minuto, segundo, dia, mês e ano no qual o dado foi coletado[8], criando-se então um *datalogger*. As ligações necessárias entre o módulo RTC e o Arduino são mostradas na Tabela 1.

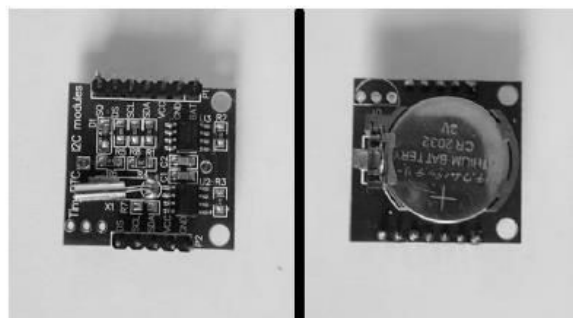


Figura 5 - Vista superior e inferior do módulo RTC

Módulo RTC	Arduino
SQ	Não conectado
DS	Não conectado
SCL	A5
SDA	A4
VCC	5V
GND	GND

Tabela 1 - Conexões entre o módulo RTC e o Arduino

Para armazenar os resultados num cartão de memória SD, utilizou-se um módulo SD Shield fabricado pela LC Studio e um cartão SD de 4 GB (Figura 6). As conexões entre o SD Shield e o Arduino são mostradas na Tabela 2. Para que o módulo funcionasse corretamente, é necessário adicionar a biblioteca SD no Arduino[9].



Figura 6 - Módulo SD Shield fabricado pela LC Studio e cartão SD de 4GB

Módulo SD Shield	Arduino
3.3V	Não conectado
GND	GND
CS	4
MOSI	11
SCK	13
MISO	12

Tabela 2 - Conexões entre o módulo SD Shield e o Arduino

Quando o limite sonoro definido pela NBR 10.152 é ultrapassado, uma lâmpada é acesa. Análises serão realizadas para avaliar o comportamento dos profissionais de saúde, no seu ambiente de trabalho, em dois momentos: Sem saber da monitoração e já informados de que estão sendo monitorados. O sistema completo é mostrado na Figura 7.

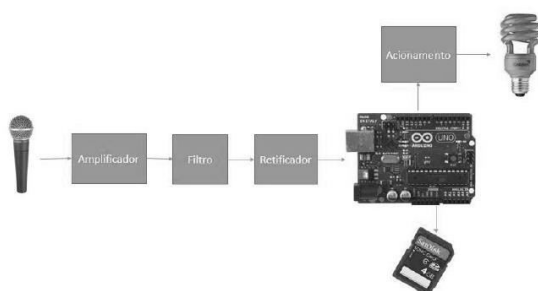


Figura 7 - Sistema completo

4 Resultados

O sistema foi montado utilizando um Software de Simulação e uma placa de circuito impresso foi gerada utilizando o layout da Figura 8. Após soldar os componentes eletrônicos, o sistema ficou como mostrado na Figura 9.

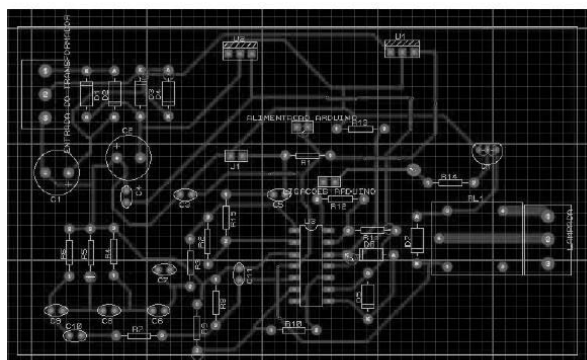


Figura 8 - Design da placa de circuito impresso montada para o sistema

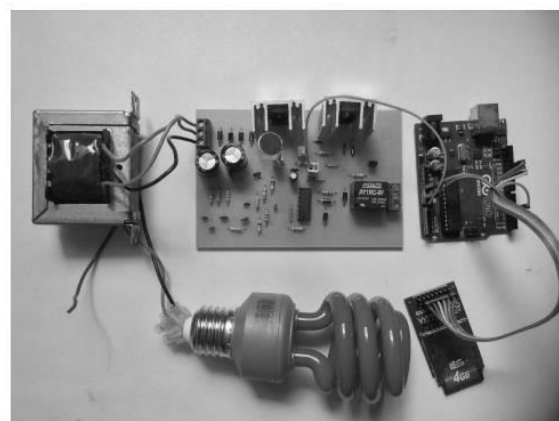


Figura 9 - Sistema completo montado em bancada

Um primeiro teste foi realizado e os valores obtidos foram comparados com os decibelímetros disponíveis e o resultado é mostrado no Gráfico 1. Calculando a tensão de referência de acordo com a equação (4), obtemos o resultado $V_{ref} = 0,000000763856304$. Após a utilização da nova tensão de referência, o resultado obtido é mostrado no Gráfico 2.

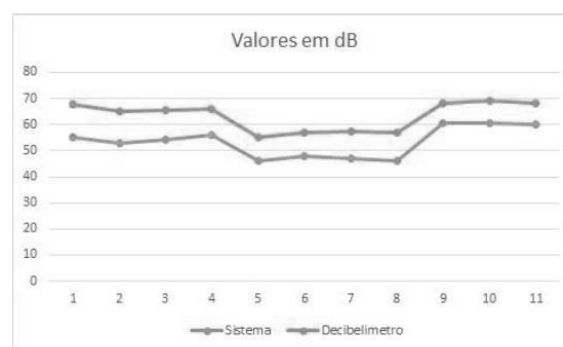


Gráfico 1 - Valores obtidos no primeiro teste e comparado com um decibelímetro

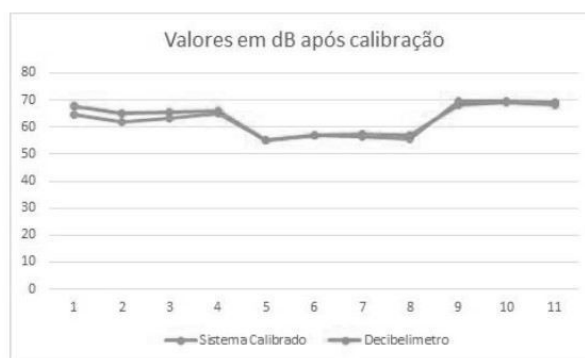


Gráfico 2 - Resultados obtidos após a calibração e comparados com um decibelímetro

Após a utilização do módulo RTC para criar o *datalogger*, foi possível armazenar os dados no cartão SD no formato de arquivo .txt. Uma parte dos resultados coletados em um teste residencial é mostrado na Figura 10. Aqui

é possível ver o momento exato no qual o dado foi coletado.

```
22:25:05 13/12/15 Valor em dB: 73.35
22:25:07 13/12/15 Valor em dB: 72.36
22:25:09 13/12/15 Valor em dB: 72.42
22:25:11 13/12/15 Valor em dB: 72.41
22:25:14 13/12/15 Valor em dB: 74.03
22:25:16 13/12/15 Valor em dB: 72.94
22:25:18 13/12/15 Valor em dB: 73.39
22:25:20 13/12/15 Valor em dB: 72.99
22:25:22 13/12/15 Valor em dB: 72.69
```

```
22:25:24 13/12/15 Valor em dB: 64.37
22:25:26 13/12/15 Valor em dB: 64.31
22:25:29 13/12/15 Valor em dB: 64.27
22:25:31 13/12/15 Valor em dB: 64.23
22:25:33 13/12/15 Valor em dB: 64.19
22:25:35 13/12/15 Valor em dB: 64.16
22:25:37 13/12/15 Valor em dB: 64.14
22:25:39 13/12/15 Valor em dB: 64.14
22:25:42 13/12/15 Valor em dB: 64.12
```

Figura 10 - Resultados dentro do arquivo .txt

5 Conclusão

Analisando o Gráfico 2 percebe-se que o Sistema apresenta uma resposta similar à resposta dos decibelímetros utilizados para calibração, porém, o sistema ainda precisa de uma melhor calibração, utilizando valores mais elevados de ruído e uma faixa mais ampla de frequências, antes de ser implantado em um ambiente hospitalar. Após essa implantação, espera-se uma mudança comportamental nos profissionais de saúde, reduzindo o barulho dentro dos hospitais e auxiliando na recuperação dos pacientes.

Outra conclusão importante vem dos dados obtidos durante a calibração. Alcançar valores entre 35 e 45 dB, como recomenda a ABNT, é algo muito difícil. Então esse estudo também pode ser usado para sugestões de revisão junto à ABNT.

Vale salientar que todo o sistema foi montado, inicialmente, com um microfone de eletreto para que os primeiros testes pudessem ser realizados. A intensão é utilizar um outro microfone do tipo dinâmico. O microfone escolhido foi o GS 36, fabricado pela Alltech. O mesmo já foi adquirido e é mostrado na Figura 11.



Figura 11 - Microfone GS 36 fabricado pela Alltech. Será utilizado em etapas futuras do projeto.

Referências

- [1] Otenio, M.H. et al. **Intensidade de ruído em hospital de 222 leitos da 18 regional de saúde – PR.** Brás Otorrinolaringol. 2007.
- [2] Posso, M. B. S. **O ruído emitido por aparelhos usados nas salas de operações.** 98f. 1980. Dissertação (Mestrado) – Escola de Enfermagem da USP, 1980.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.152 – Avaliação do ruído para o conforto acústico.** Rio de Janeiro: ABNT, 5 p. Dez. 1987.
- [4] Platt, Charles. **Electronics: Fun & Fundamentals – The Eclectic Electret Microphone.** Disponível em: <http://makezine.com/magazine/make-39/electronics-fun-fundamentals-the-eclectic-electret-microphone/>, Mar. 2015
- [5] BEIS, Uwe. **Weighting Filter Set.** Disponível em: <http://www.beis.de/Elektronik/AudioMeasure/WeightingFilters.html>, Mar. 2015
- [6] SPADA, A. L. **O Ouvido Humano.** Disponível em: http://www.attack.com.br/artigos_tecnicos/ouvido_humano.pdf
- [7] Ye, Ting. **Precision Full-Wave Rectifier, Dual Supply.** Texas Instruments. Dez. 2013.
- [8] Boxall, John. **Tutorial – Using DS1307 and DS3231 Real Time Clock Modules with Arduino.** Tronixlabs. Dez. 2014. Disponível em: <http://tronixstuff.com/2014/12/01/tutorial-using-ds1307-and-ds3231-real-time-clock-modules-with-arduino/>
- [9] Arduino. **SD Library.** Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Reference/SD>.

Sistema de medição de energia e monitoração da qualidade da rede elétrica

ENERGY MEASUREMENT AND QUALITY MONITORING SYSTEM FOR THE ELECTRICAL GRID

Santos, H. L. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
hlms@ecomppoli.br

Oliveira, J. P. G.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
jpgo@ecomppoli.br

Resumo

Este artigo apresenta os resultados de um estudo para implementação de um sistema para análise da qualidade da rede elétrica por meio da monitoração de alguns parâmetros. O sistema foi proposto para funcionar em uma arquitetura reconfigurável, um FPGA, e foi desenvolvido utilizando-se o software Quartus II e a ferramenta SOPC Builder, da empresa Altera. A placa DE2, também da Altera, foi o hardware de desenvolvimento escolhido para fins de implementação do projeto. Esse trabalho apresentou como principal resultado um código VHDL do sistema de monitoramento de qualidade de energia elétrica.

Palavras-Chave: *Medição de energia, Monitoramento da Qualidade de Energia*

Abstract

This paper introduces how to build a prototype for analysis of the quality of the electrical grid by monitoring key parameters. The system has been proposed to function in a reconfigurable architecture, an FPGA using the Quartus II software and SOPC Builder tool. The DE2 board from Altera was the chosen hardware platform for system implementation. This work resulted in a VHDL code for implementing a monitoring system for energy quality.

Keywords: *Energy Measurement, Energy Quality Monitoring*

1 Introdução

A qualidade da energia elétrica fornecida é fundamental para todos os envolvidos num sistema de distribuição de energia elétrica, tanto as empresas de distribuição quanto os consumidores. Portanto, é de interesse desses agentes uma maneira de monitorar e verificar a qualidade da energia elétrica. Problemas relacionados ao fornecimento de energia podem gerar grandes prejuízos, principalmente aos que dependem da eletricidade para realizar suas atividades econômicas. Então, um sistema capaz de detectar problemas na rede elétrica pode representar uma importante ferramenta para o monitoramento da qualidade da energia [1]. Alguns autores consideram que o monitoramento da qualidade de energia por meio da medição dos valores de tensões, correntes e potências em vários canais é a melhor forma de detectar problemas nos sistemas elétricos [2].

A monitoração da qualidade da energia usando medidores inteligentes nas chamadas redes inteligentes (*smart grids*) pode trazer alguns benefícios, como identificação de furtos de energia e localização de consumos exagerados, provocando uma economia de energia.

É possível analisar alguns fenômenos como interrupções, variações de tensão de curta e longa duração, oscilações na tensão e transitórios por meio da medição de tensão, corrente, potência e distorção harmônica. E a partir desses dados extrair informações para definir a qualidade do fornecimento de energia e ainda encontrar e corrigir problemas na rede elétrica.

No entanto, os produtos existentes para monitoramento da qualidade de energia elétrica são caros. Por isso desenvolver uma solução barata, flexível e eficaz é importante.

O sistema de qualidade de energia deve calcular as grandezas e registrá-las para que o usuário verifique, com auxílio de uma interface de fácil utilização, os parâmetros e as inferências do sistema sobre a qualidade da rede.

2 Estrutura do sistema

O primeiro ponto abordado na construção do projeto do sistema de monitoramento foi a definição da estrutura do nó necessário para implementar os cálculos dos parâmetros de qualidade e realizar a comunicação com um computador. Após a verificação das condições oferecidas pela rede elétrica local, foi definida a estrutura do sistema. O diagrama foi então elaborado de acordo com as condições locais.

A solução inicial para redução da tensão foi colocar um transformador, assim diminuindo a amplitude do sinal para entrada num conversor Analógico/Digital (A/D). O conversor A/D foi incluído no sistema com o propósito de obter os valores digitais dos sinais de tensão e corrente, a fim de que esses sejam processados para uma posterior análise. Uma outra dificuldade do projeto foi o fato de o sinal de tensão ser apresentando de modo alternado, implicando valores negativos de tensão e dificultando o processo de conversão do A/D. Por isso foi introduzido um retificador de onda após a saída do sinal do transformador.

Definidos os componentes mencionados anteriormente e as suas disposições no sistema, é possível colocar o sinal como entrada de um *Field Programmable Gate Array* (FPGA), que foi o dispositivo escolhido para a análise do sinal durante a pesquisa, pois possui uma boa flexibilidade para a realização dos testes. O padrão Ethernet foi definido como a interface de comunicação do sistema. Esse protocolo foi escolhido devido à disponibilidade e também uma possível integração futura com a internet.

A figura 1 mostra o diagrama em blocos definido para o sistema de medição e monitoramento de energia.

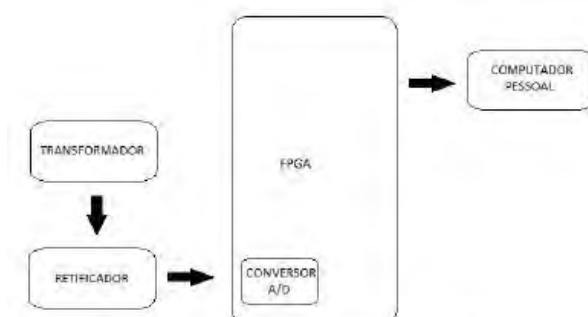


Figura 1: Esquema do sistema de medição.

3 Definição de cálculos dos parâmetros

Por ser um projeto de medição de qualidade, é necessário utilizar uma forma de medição que possua poucas limitações. O cálculo da tensão e corrente eficazes direto, $V_{rms} = V_{pico}/\sqrt{2}$, só fornece valores corretos para formas de ondas senoidais sem distorção. Portanto, não deve ser utilizado para sinais de natureza arbitrária. Com apoio do documento “RMS Calculation for Energy Meter Applications” [3] e no artigo de “Kazuo Nakashima” [4] foi definida a forma de cálculo para medição da tensão eficaz TRUE RMS que apresenta os valores corretos para qualquer forma de onda.

As formulas (1) até (6) definem cálculos das métricas da energia elétrica para o algoritmo de monitoramento da qualidade da rede:

Tensão Eficaz:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V^2(i)} \quad (1)$$

Corrente Eficaz:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N i^2(i)} \quad (2)$$

Taxa de Distorção Harmônica:

$$TDH = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_h^2(i)}}{V_i} \quad (3)$$

Fator de Potência:

$$FP = \frac{\text{potência ativa}}{\text{potência aparente}} \quad (4)$$

Potência Aparente:

$$PA = V_{RMS} \times I_{RMS} \quad (5)$$

4 Sistema no FPGA

Esta seção descreve a definição dos recursos e as estruturas utilizadas para tornar possível a implementação do código em VHDL do sistema de monitoramento do sinal da energia na plataforma FPGA. Durante essa fase, foi utilizada a ferramenta Quartus II, da Altera, para a geração do código de monitoramento. Inicialmente foi realizada a escolha de uma placa de desenvolvimento para o sistema. A placa escolhida foi a Altera DE-2 devido à disponibilidade durante o projeto. A figura 2 ilustra a placa de prototipação de circuitos Altera DE-2.

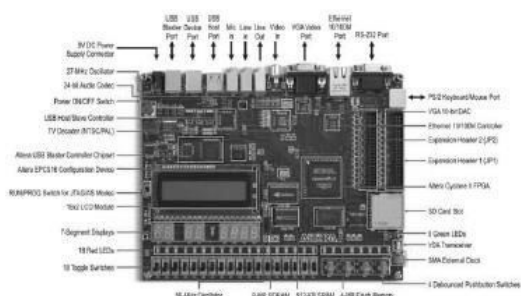


Figura 2: Ilustração da placa de desenvolvimento DE-2 utilizada.

A placa Altera DE2 oferece alguns recursos como:

- Altera Cyclone II 2C35 dispositivo FPGA
- Display de LCD 16x2
- Mbytes SDRAM
- interruptores de pressão
- 18 interruptores

Após as escolhas citadas anteriormente, foi definido o esquema dos módulos internos, entradas e saídas do sistema. Esses módulos foram escolhidos a partir dos módulos disponíveis pela placa de prototipação.

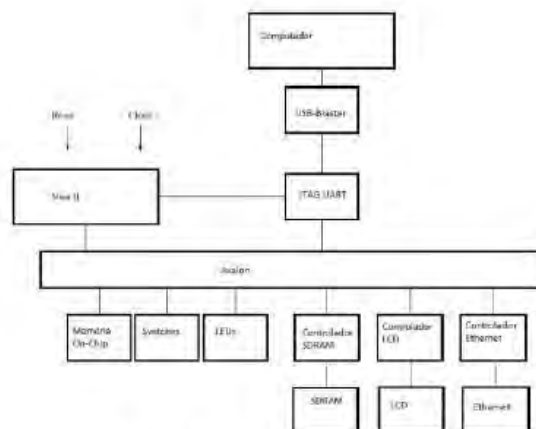


Figura 3: Estrutura do sistema do FPGA.

Os conceitos básicos de VHDL foram inicialmente estudados e entendidos utilizando literatura disponível [5]. E usando o SOPC Builder, construiu-se o esquema proposto na figura 3. A partir daí os componentes foram definidos de acordo como necessidade do sistema e foram adicionados gradativamente ao projeto.

Dentre os três possíveis tipos de processadores da família Nios II selecionou-se o processador Nios II/e de 32 bits de arquitetura RISC. Portanto o processador de menor tamanho e econômico, porém, suficiente para o projeto. Outras possibilidades eram:

Nios II/s: Equilibra custo e desempenho

Nios II/f: Maior desempenho e maior custo

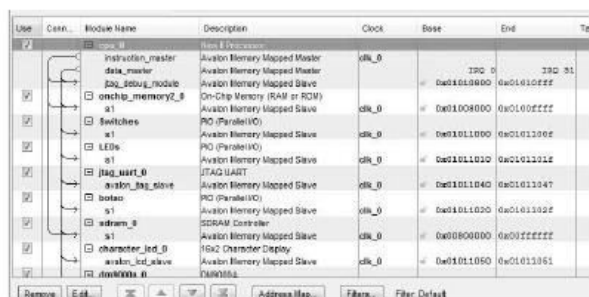
Em relação à memória do sistema, foi incluído um módulo interno de memória RAM com tamanho da palavra de 32 bits e de 32 Kbytes de capacidade.

Entradas e saídas de dados paralelos também foram incluídas para leitura e saída de dados. Durante parte do projeto foram usadas as chaves da placa DE-2 (switches) como entrada de dados para simular a entrada digital do sistema. No sistema final deve ser utilizado outro modo de entrada de dados, o conversor A/D.

O JTAG UART foi necessário para fazer a comunicação entre o FPGA e o computador, sendo utilizado para fazer a prototipação do hardware na placa.

O projeto também prevê a utilização de um botão para mudar a saída apresentada no LCD, portanto, foi incluído. O controlador de memória SDRAM também foi necessário ao projeto. Pois, na memória serão armazenados os valores de tensão e corrente para cálculo de potência e valores eficazes. A memória SDRAM tem 8 MBytes com largura de dados de 16 bits.

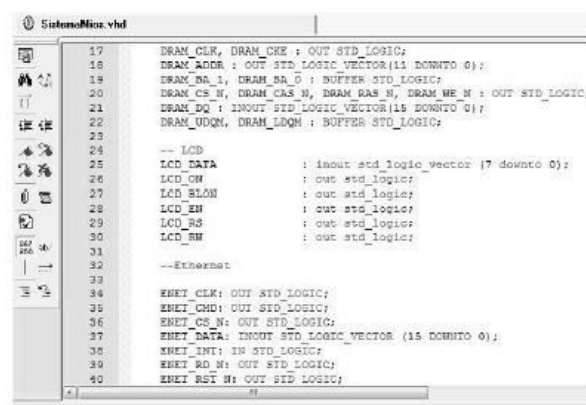
Além de ter incluído um controlador do LCD utilizado para mostrar as variáveis calculadas, um controlador ethernet para realizar a comunicação dos dados obtidos também foi adicionado. Finalmente, foram ajustados os endereços de base desses componentes conforme apresentado na figura 4.



Use	Conn.	Module Name	Description	Clock	Base	End	Te
		Nios II	Nios II Processor				
		Instruction_master	Avion Memory Mapped Master		0x00000000	0x00000000	
		data_master	Avion Memory Mapped Master		0x00000000	0x00000000	
		sdram_controller	On-Chip Memory (RAM or ROM)		0x00000000	0x00000000	
		sdram_slave	Avion Memory Mapped Slave		0x00000000	0x00000000	
		switches	IO (Parallel I/O)		0x00000000	0x00000000	
		leds	Avion Memory Mapped Slave		0x00000000	0x00000000	
		jtag_uart_0	JTAG UART		0x00000000	0x00000000	
		avion_jtag_slave	Avion Memory Mapped Slave		0x00000000	0x00000000	
		button	IO (Parallel I/O)		0x00000000	0x00000000	
		sdram_0	Avion Memory Mapped Slave		0x00000000	0x00000000	
		sdram_slave	Avion Memory Mapped Slave		0x00000000	0x00000000	
		character_lcd_0	16x2 Character Display		0x00000000	0x00000000	
		avion_lcd_slave	Avion Memory Mapped Slave		0x00000000	0x00000000	
		avion_ethernet_0	Avion Ethernet		0x00000000	0x00000000	

Figura 4: Sistema no SOPC

Após definição da parte inicial do sistema, o próximo passo foi definir a entidade completa do sistema, integrando em VHDL, como ilustra a Figura 5; e a atribuição dos pinos da placa Altera DE-2, exemplificado na Figura 6.



```

17  DRAM_CLK, DRAM_CKE : OUT STD_LOGIC;
18  DRAM_ADDR : OUT STD_LOGIC_VECTOR(11 DOWNTO 0);
19  DRAM_BA_1, DRAM_BA_0 : BUFFER STD_LOGIC;
20  DRAM_CS_N, DRAM_CAS_N, DRAM_RAS_N, DRAM_WE_N : OUT STD_LOGIC;
21  DRAM_DQ : INOUT STD_LOGIC_VECTOR(15 DOWNTO 0);
22  DRAM_DQMN, DRAM_DQPM : BUFFER STD_LOGIC;
23
24  -- LCD
25  LCD_DATA : INOUT STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0);
26  LCD_ON : OUT STD_LOGIC;
27  LCD_BLON : OUT STD_LOGIC;
28  LCD_EN : OUT STD_LOGIC;
29  LCD_RS : OUT STD_LOGIC;
30  LCD_RW : OUT STD_LOGIC;
31
32  -- Ethernet
33
34  ETHET_CLK : OUT STD_LOGIC;
35  ETHET_CMD : OUT STD_LOGIC;
36  ETHET_CS_N : OUT STD_LOGIC;
37  ETHET_DATA : INOUT STD_LOGIC_VECTOR(15 DOWNTO 0);
38  ETHET_INT : IN STD_LOGIC;
39  ETHET_RD_N : OUT STD_LOGIC;
40  ETHET_RST_N : OUT STD_LOGIC;

```

Figura 5: Parte do código em VHDL da entidade do projeto.

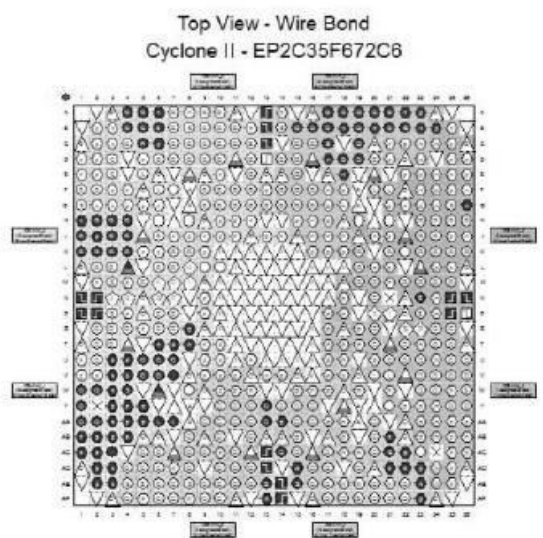


Figura 6: Diagrama de pinos do FPGA Cyclone II da Altera.

5 Camada de Software

A próxima etapa foi o desenvolvimento da camada de software que irá funcionar sobre o processador Nios II. O software foi desenvolvido em linguagem C devido ao suporte dessa linguagem na IDE (interface integrada de desenvolvimento) Quartus II. Durante o projeto foi implementada parte da solução de software com intuito de calcular tensão eficaz e testar o funcionamento básico do sistema em escrito VHDL.

A Nios II 9.1 IDE foi usada para a construção do software responsável pela análise dos sinais.

6 Resultados

Os resultados desse projeto foram a definição de métodos de cálculo das grandezas necessária para a medição

de qualidade de energia, a definição da estrutura necessária de um sistema de medição e a implementação do processador no dispositivo VHDL da placa Altera DE-2. Os códigos gerados em VHDL e em C para o processador também são os produtos finais do projeto.

7 Conclusões

O projeto descreveu uma forma alternativa de implementação para um sistema de monitoração de parâmetros utilizados para inferir a qualidade da energia elétrica. Uma solução simples e desenvolvida em hardware reconfigurável, que viabiliza a transmissão dos parâmetros para o monitoramento remoto.

Referências

- [1] J. Baptista, R. Morais, A. M. Moura, P. Amaral & R. Costa. Monitorização digital de parâmetros associados à qualidade da energia eléctrica. in 11^a.Conferencia luso-espanhola de Engenharia Electrotécnica - 11CHLIE 2009, pp.-, 2009
- [2] J. S. Martins, C. Couto, J. L. Afonso, Qualidade de energia eléctrica, In *Anais do 3º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia – CLME'2003*, Maputo, Moçambique, 19-21, páginas. 219-231, 2003.
- [3] E. Mouli, RMS Calculation for Energy Meter Applications Using the ADE7756, AN-578, Analog Devices, 2003.
- [4] K. Nakashima, Valor Médio e Eficaz, Universidade Federal de Itajubá, 2007.
- [5] C. Costa. Projetos de circuitos digitais com FPGAs. Érica, São Paulo, 2009.

Análise de transferência de calor em um reator trifásico de leito fixo com aplicação da transformada de Laplace

Analysis of the heat transfer in a trickle bed reactor with application of Laplace Transform

Evanderson Heleno do Aguiar
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
evandersonaguiar@hotmail.com

Antonio Carlos L. Lins Cavalcanti
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
antoniocarloslinscs@hotmail.com

Jornandes Dias da Silva
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
jornandesdias@poli.br

Resumo

As previsões quantitativas do comportamento transiente de processos catalíticos fluido-sólido têm sido feitas a partir de modelos fenomenológicos, tendo em vista a adequação de seus projetos, a extrapolação em escala, operações e controle. Neste trabalho, apresenta-se a modelagem fenomenológica para o reator trifásico sob regime de leito gotejante, abordando as restrições para este regime, aplicações de modelos e os respectivos parâmetros hidrodinâmicos. O desenvolvimento operacional da pesquisa de implantação de um processo reativo catalítico trifásico é descrito obedecendo à ordem de etapas que seguem o processo. Como ferramenta matemática utilizou-se a Transformada de Laplace (TL) para a transformação das equações diferenciais parciais do modelo em equações diferenciais ordinárias. Logo em seguida foi aplicada técnica numérica da inversão da TL, onde se utilizou linguagens de programação como Fortran e Matlab para modelagem de perfis que descrevem o comportamento do reator em função do tempo e da distância radial. Como resultado do projeto, obtiveram-se resultados numéricos que modelam o comportamento termodinâmico em uma seção do reator, através das variáveis tempo e distância radial, nas fases sólida e gasosa, relacionando-as através de perfis tridimensionais

Palavras-Chave: Reator, leito fixo, Transformada de Laplace

Abstract

The quantitative predictions about the transient behavior of fluid-solid catalytic processes have been made from phenomenological models, according with the adequation of their projects, to the extrapolation on scale, operations and controls. In this paper is presented the phenomenological modeling for a trickle bed reactor operating in trickle flow pattern, considering the restrictions for this pattern, applications of models and their hydrodynamic parameters. The operational development of the research about the implantation of a three-phases catalytic reactive process is showed following the order of steps of the process. As a mathematical tool, was used the Laplace Transform (LP) to transform the Partial Differential Equations (PDE), that describes the model, in Ordinary Differential Equations (ODE). After that, was utilized a numerical technique to invert the LP, when was used programming languages like Fortran and Matlab, for modeling of profiles that describes the behavior of the reactor over the time and the axial distance. As result, it was obtained numerical results that models the thermodynamic behavior in a section of the reactor through the variables time and distance, in the gas and solid phases, relating them through three-dimensional profiles.

Keywords: Reactor, trickle bed, Laplace Transform

1 Introdução

Os reatores trifásicos de leito fixo têm uma ampla aplicação no setor industrial, sendo usado em indústrias de petróleo e processos de refinaria, tal como hidrodessulfurização e hidrogenação mas também pode ser aplicado na oxidação de matéria orgânica em águas residuais e reações enzimáticas [5]. As variações das vazões de gás e líquido podem causar mudanças nos regimes de escoamento durante as operações em reatores trifásico de leito fixo. Estes reatores operam numa faixa de velocidade superficial de líquido entre 10-4 m/s a 3x10-3 m/s em reatores de plantas - piloto e entre 10-3 m/s a 2x10-2 m/s em reatores comerciais [2]. Quanto à velocidade superficial do gás, situa-se entre os valores de 2x10-2 m/s a 4,5x10-1 m/s para plantas - piloto e 1,5x10-1 m/s a 3 m/s para reatores comerciais.

Essa variação de comportamento são classificadas em três tipo de regime: Regime de Leito Gotejante, Pulsante e de Bolhas dispersas. O Regime de Leito Gotejante é o mais utilizado em aplicações industriais devido a sua alta conversão e fácil adaptação para altas pressões, maior fator de efetividade, entre outras vantagens [3].

O conhecimento do comportamento termodinâmico ao longo do reator é de fundamental importância no momento em que este é projetado, ou até mesmo na fase de controle do reator já em funcionamento. Neste trabalho se estudou o comportamento de um reator de leito fixo operando em regime de leito gotejante.

2 Metodologia

O fenômeno de transferência de calor que ocorre dentro do reator poder ser entendido através das seguintes relações

Para fase sólida:

$$\frac{\partial T_s(r,t)}{\partial t} = \frac{k_s}{C_{p,s} \rho_s} \left(\frac{\partial^2 T_s(r,t)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_s(r,t)}{\partial r} \right) \quad (1)$$

Com as seguintes condições de contorno:

$$T_s(r,t)|_{t=0} = 0; T_s \in (0, R) \text{ e } T_s \in (t_0, t_{final}) \quad (2)$$

$$k_s \frac{\partial T_s(r,t)}{\partial r} \Big|_{R=r} = h_s (T_g(z,t) - T_s(r,t)|_{R=r}); t \geq 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial T_s(r,t)}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0; t \geq 0 \quad (4)$$

Para a fase gasosa:

$$\frac{\partial T_g(z,t)}{\partial t} + V_{sg} \frac{\partial T_g(z,t)}{\partial z} = \alpha_{ax,g} \frac{\partial^2 T_g(z,t)}{\partial z^2} - \frac{3k_s}{RC_{p,g} \rho_g} \frac{(1-\varepsilon_b)}{\varepsilon_b} \left(\frac{\partial T_s(r,t)}{\partial r} \right) \Big|_{R=r} \quad (5)$$

Com as seguintes condições de contorno

$$T_g(z,t)|_{t=0} = 0; T_g \in (0, L) \text{ e } T_g \in (t_0, t_{final}) \quad (6)$$

$$T_g(z,t)|_{z=0^+} = T_{g,0}; t \geq 0 \quad (7)$$

$$T_g(z,t)|_{z=\infty} = 0; t \geq 0 \quad (8)$$

As equações (1) e (5) descrevem o fenômeno da transferência de calor dentro do reator. Estas são equações diferenciais parciais que devido ao seu grau de complexidade não podem ser resolvidas analiticamente. Como solução foi adotada a técnica da transformada de Laplace e sua inversa, para resolução das equações. Aplicando a Transformada de Laplace às equações (1) e (5) em relação à variável t , obtém-se as equações (9) e (10), respectivamente, que são equações diferenciais ordinárias de segunda, resolvíveis analiticamente.

$$\frac{d^2 T_s(r,s)}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dT_s(r,s)}{dr} - \frac{C_{p,s} \rho_s}{k_s} s T_s(r,s) = 0 \quad (9)$$

$$s T_g(z,s) - T_g(z,0) + V_{sg} \frac{dT_g(z,s)}{dz} = \alpha_{ax,g} \frac{d^2 T_g(z,s)}{dz^2} - \frac{3k_s}{RC_{p,g} \rho_g} \frac{(1-\varepsilon_b)}{\varepsilon_b} \left(\frac{dT_s(r,s)}{dr} \right) \Big|_{R=r} \quad (10)$$

As soluções para as equações (9) e (10), são dadas nas equações (11) e (12), respectivamente.

$$T_s(r,s) = \frac{1}{r} \beta(s) \sinh \left(r \sqrt{\frac{C_{p,s} \rho_s}{k_s} s} \right) T_g(z,s) \quad (11)$$

Onde

$$\beta(s) = \frac{Rh_s}{\left[k_s \sqrt{\frac{C_{p,s}\rho_s}{k_s}} s \cosh\left(R \sqrt{\frac{C_{p,s}\rho_s}{k_s}} s\right) + \sinh\left(R \sqrt{\frac{C_{p,s}\rho_s}{k_s}} s\right) \left(h_s - \frac{k_s}{R}\right) \right]}$$

$$T_g(z, s) = e^{z\left(\frac{V_{sg}}{2\alpha_{ax,g}}\right)} \left[\frac{T_{g,0}}{s} \cosh(z\delta) - \frac{T_{g,0}}{s} \coth(\delta) \sinh(z\delta) \right] \quad (12)$$

Onde

$$\delta(s) = \frac{\sqrt{V_{sg}^2 + 4\alpha_{ax,g}(\xi(s) + s)}}{2\alpha_{ax,g}}$$

$$\xi(s) = \frac{3k_s}{RC_{p,g}\rho_g} \frac{(1-\varepsilon_b)}{\varepsilon_b} \phi(s)$$

$$\phi(s) = \frac{\left[R\beta(s) \sqrt{\frac{C_{p,s}\rho_s}{k_s}} s \cosh\left(R \sqrt{\frac{C_{p,s}\rho_s}{k_s}} s\right) - \beta(s) \sinh\left(R \sqrt{\frac{C_{p,s}\rho_s}{k_s}} s\right) \right]}{R^2}$$

$$\beta(s) = \frac{Rh_s}{\left[k_s \sqrt{\frac{C_{p,s}\rho_s}{k_s}} s \cosh\left(R \sqrt{\frac{C_{p,s}\rho_s}{k_s}} s\right) + \sinh\left(R \sqrt{\frac{C_{p,s}\rho_s}{k_s}} s\right) \left(h_s - \frac{k_s}{R}\right) \right]}$$

Obteve-se portanto, funções e em função da variável de Laplace. O procedimento a ser adotado neste momento é a aplicação da transformada inversa de Laplace para que as funções voltem à variável inicial, . s T g T s t

A Transformada Inversa de Laplace pode ser obtida através da equação (13) para fase sólida e da equação (14) para a fase gasosa.

$$T_s(r, t) = \frac{1}{2\pi i} \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{\gamma-iT}^{\gamma+iT} T_s(r, s) e^{st} ds \quad (13)$$

$$T_g(z, t) = \frac{1}{2\pi i} \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{\gamma-iT}^{\gamma+iT} T_g(z, s) e^{st} ds \quad (14)$$

Essa é uma integral complexa. Conhecida por Fórmula inversa de Mellin, Integral de Bromwich ou até mesmo Integral de Fourier-Mellin. A variável s de Laplace é uma variável complexa, ou seja, $s = \gamma + i\omega$. A integral acima pode ser entendida como uma integral de linha sobre um caminho que liga os pontos $(\gamma - iT)$ e $(\gamma + iT)$; pelo teorema de Cauchy, o qual diz que a integral sobre um caminho que liga dois pontos independente do caminho escolhido, pode-se escolher o caminho mais simples para se trabalhar, então pode-se considerar a reta vertical $x = \gamma$ para ligar os pontos acima mencionados. Sendo assim, as equações paramétricas de s são:

$$s(\omega) = \begin{cases} x = \gamma \\ y = i\omega \end{cases}, \omega \in [-T, T]$$

Pela definição de integral de linha:

$$\int_c f(z) dz = \int_a^b f(z(t)) z'(t) dt$$

Onde c é um caminho definido por uma função $z(t)$, e os limites de integração (a, b) forma o intervalo de variação da variável t . Aplicando essa ideia às equações (13) e (14), lembrando que a temperatura é uma variável real, obtém-se as equações (15) e (16).

$$T_s(r, t) = \frac{e^{\gamma t}}{\pi} \int_0^\infty \text{Re}[T_s(r, s(\omega)) e^{i\omega t}] d\omega \quad (15)$$

$$T_g(z, t) = \frac{e^{\gamma t}}{\pi} \int_0^\infty \text{Re}[T_g(z, s(\omega)) e^{i\omega t}] d\omega \quad (16)$$

Para resolver as equações (15) e (16), foi desenvolvido um código computacional utilizando a linguagem de programação Fortran, o qual utilizou o método numérico da Regra do Trapézio, através do qual foram obtidas as equações iterativas (17) e (18) para as fases sólida e gasosa, respectivamente.

$$T_s(r, t) = \frac{he^{t\gamma}}{\pi} \left[\frac{[T_s(r, s(0)) + \phi_s]}{2} + \sum_{k=1}^n \operatorname{Re}[T_s(r, s(kh)) e^{nkh}] \right] \quad (17)$$

Onde

$$\phi_s = \lim_{\omega \rightarrow j} \operatorname{Re}[T_s(r, s(\omega)) e^{n\omega}]$$

$$T_g(z, t) = \frac{he^{t\gamma}}{\pi} \left[\frac{[T_g(z, s(0)) + \phi_g]}{2} + \sum_{k=1}^n \operatorname{Re}[T_g(z, s(kh)) e^{nkh}] \right] \quad (18)$$

Onde

$$\phi_g = \lim_{\omega \rightarrow j} \operatorname{Re}[T_g(z, s(\omega)) e^{n\omega}]$$

3 Resultados

Como melhor forma de visualizar os resultados, o código Fortran produzido gerou arquivo de dados de saída para ser importado e plotado em gráficos tridimensionais através de um código desenvolvido através da linguagem Matlab. Os resultados apresentados nas figuras (1) e (2) representam o comportamento da temperatura ao longo do raio da partícula catalítica, na fase sólida, e ao longo do eixo do reator, na fase gasosa.

Percebe-se na Figura 1, que não há considerável variação de temperatura ao longo do raio da partícula catalisadora, enquanto que em relação ao tempo, percebe-se o crescimento da temperatura, com uma leve queda após um certo período de tempo. Quanto à Figura 2, nota-se que a temperatura em relação ao tempo varia de maneira semelhante à Figura 1, porém, ao longo do eixo do reator há notável decréscimo da temperatura, ou seja, na entrada do reator a temperatura tende a ser levemente superior que na saída do reator.

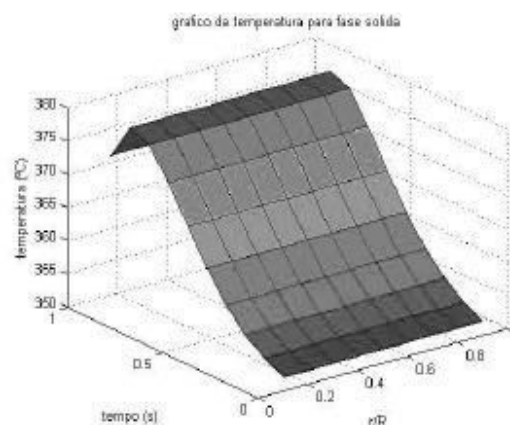


Figura 1 : Gráfico mostrando o comportamento térmico ao longo do raio da partícula catalisadora (fase sólida)

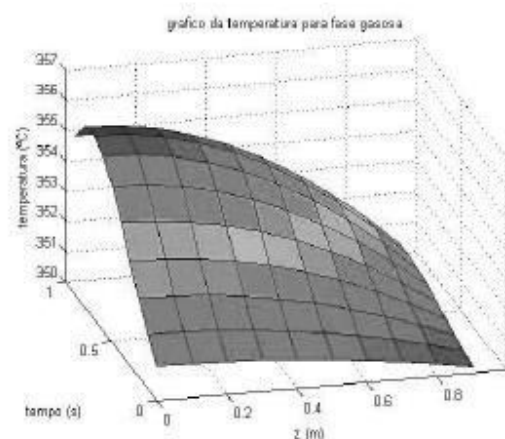


Figura 2 : Gráfico mostrando o comportamento térmico ao longo do eixo do reator (fase gasosa)

Referências

- [1] Iliuta, I.; Bildea, S. C.; Iliuta, M. C.; Larachi, F. **Analysis of Trickle Bed and Packed Bubble Column Bioreactors for Combined Carbon Oxidation and Nitrification**. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 19: 69-87, 2002.
- [2] Ramachandran, P. A.; Chaudhari, R. B. **Three-Phase Catalytic Reactors**, Gordon and Breach, New York, U.S.A. 1983.
- [3] Silva, J. D. **Dynamic evaluation for liquid tracer in a trickle bed reactor**. J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng., v. 33, n. 3, 2011. DOI: 10.1590/S1678-58782011000300002.

- [4] Silva, J.D.; Lima, F.R.A.; Abreu, C.A.M. and Knoechelmann, A. **Experimental analysis and evaluation of the mass transfer process in a trickle-bed reactor**. Braz. J. Chem. Eng., 2003, vol.20, n.4, pp. 375-390. DOI: 10.1590/S0104-66322003000400005.

- [5] Zeljko V. Milorad P. D. **Computational Modeling of Trickle Bed Reactors**. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2012. 51, 1663–1671.

Fabricação de Modelos Anatômicos Usando Prototipagem Rápida

Manufacturing Anatomical Models Using Rapid Prototyping

Joab Júlio de Souza Silva

Escola Politécnica de Pernambuco

Universidade de Pernambuco

50.720-001 - Recife, Brasil

joab.julio@gmail.com

Luiz Arturo Gómez Malagón

Escola Politécnica de Pernambuco

Universidade de Pernambuco

50.720-001 - Recife, Brasil

lagomezma@poli.br

Resumo

O uso de técnicas de fabricação usando o computador tem se difundido amplamente não somente no âmbito empresarial como também no âmbito educacional e doméstico. Uma das técnicas de fabricação que usa o computador é a técnica de prototipagem rápida ou impressão 3D, a qual permite a impressão de um objeto sólido a partir de imagens criadas ou capturadas pelo computador. Atualmente, o planejamento cirúrgico é realizado a partir das observações das imagens geradas por equipamentos de raios x ou de tomografia computadorizada. Em alguns casos, as informações geradas por estas duas técnicas são insuficientes fazendo com que o planejamento cirúrgico seja comprometido. O projeto em questão visa a fabricação de modelos anatômicos de estruturas ósseas utilizando técnicas de prototipagem rápida para fins de planejamento cirúrgico e educacional. Os arquivos necessários para a obtenção do modelo tridimensional foram obtidos por meio de tomografia computadorizada e reconstruídas com a utilização do software público InVesalius. Após a reconstrução dos modelos foram constatadas falhas, as quais puderam ser corrigidas com a utilização do software gráfico Blender. A prototipagem rápida foi realizada usando uma máquina de impressão 3D de baixo custo conhecida como ReRap Prusa, a qual imprime objetos tridimensionais usando como matéria prima um filamento de material plástico. Foram impressos um modelo da coluna lombar, sem fraturas, e da articulação do joelho esquerdo, que encontrava-se fraturado. Os modelos fabricados foram analisados por médicos ortopedistas e foram classificados como ótimo recurso didático e de visualização das fraturas para um posterior planejamento cirúrgico.

Palavras-Chave: Prototipagem Rápida, Planejamento Cirúrgico, InVesalius, RepRap Prusa

Abstract

The use of manufacturing techniques using the computer has spread widely not only in the business sector as well as in educational and domestically. One of the manufacturing techniques using the computer is the rapid prototyping or 3D printing technique, which allows printing of a solid object from images created or captured by the computer. Currently, surgical planning takes place from the observations of the images generated by X-ray or CT scan equipment. In some cases, the information generated by these two techniques are inadequate and the surgical planning can be compromised. The project in question aims at making anatomical models of bone structures using rapid prototyping techniques for the purpose of surgical and educational planning. The files required for obtaining a three-dimensional model was obtained by computed tomography and rebuilt using the public software InVesalius. After the reconstruction of the models flaws were found, which could be corrected with the use of Blender graphics software. Rapid prototyping was accomplished using a low-cost 3D printing machine known as ReRap Prusa, which print three dimensional objects using as material a filament of plastics material. It was printed a model of the lumbar spine, without fractures, and joint in his left knee, which had become fractured. Manufactured models were assessed by doctors and orthopedic surgeons and was classified as excellent teaching resource and visualization of fractures for further surgical planning.

Keywords: Rapid Prototyping, Surgical Planning, InVesallius, RepRap Prusa

1 Introdução

A prototipagem rápida é um processo aditivo construtivo utilizado para a obtenção de protótipos físicos a partir de um modelo tridimensional digital. A impressão é realizada por um processo aditivo, no qual camadas de material são adicionadas sucessivamente de forma a obter objetos de formatos variados.

Inicialmente as técnicas de prototipagem rápida foram empregadas pelas indústrias de automobilística e aeronáutica. No entanto, devido a suas vantagens na fabricação de peças complexas, a indústria de equipamentos e componentes para o setor da saúde iniciou a explorar suas potencialidades. Por exemplo, a fabricação de próteses usando técnicas de prototipagem rápida permite diminuir os tempos de intervenção cirúrgica, realizar planejamento de cirurgias, treinar pessoal na área de educação e criar próteses sob medida [1].

Com o avanço da tecnologia no que se refere à aquisição de imagens médicas, como a tomografia computadorizada (TC) e a ressonância magnética (RM), hoje já é possível gerar imagens tridimensionais de alta qualidade que permitem a visualização, manipulação e análise de estruturas anatômicas.

A prototipagem rápida quando aliada à medicina traz diversos benefícios tanto para o médico quanto para o paciente. Permite a fabricação de próteses, protótipos, etc., personalizados, ou seja, que se adaptam ao paciente que será submetido à cirurgia[2]. A utilização de um modelo tridimensional possibilita, por exemplo, ao médico a explicação dos procedimentos cirúrgicos que serão adotados, e para o paciente a compreensão dos mesmos. A utilização de modelos permite a possibilidade de treinos cirúrgicos, o que significa que a porcentagem de erros ocorridos durante as cirurgias pode ser menor, bem como o tempo necessário para a realização das mesmas.

Um fator importante no uso desta tecnologia é a relação entre o material e a funcionalidade da prótese que vai ser fabricada. Por exemplo, materiais biocompatíveis devem ser empregados quando os implantes ou próteses vão ser inseridos dentro do tecido biológico. Por outro lado, materiais plásticos convencionais como ABS ou PLA podem ser explorados para a fabricação de próteses externas sem maiores restrições.

A obtenção de modelos tridimensionais das regiões ósseas não é uma tarefa fácil, principalmente devido à complexidade da geometria dessas regiões. A solução para esse problema é construir imagens tridimensionais a partir de

tomografias computadorizadas, utilizando para isso softwares que unem figuras bidimensionais geradas por esse processo e as transformem em imagens 3D[3].

2 Materiais e Métodos

Neste trabalho foi realizado a impressão de um modelo da articulação do joelho esquerdo, fraturado. Também foi impresso um modelo de coluna lombar em perfeito estado.

Para conversão dos arquivos no formato DICOM provenientes de tomografias computadorizadas em um modelo tridimensional foi utilizado o software público Invesalious.

2.1 Aquisição das Imagens

DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) é um padrão relativo à transmissão, ao armazenamento e ao tratamento de informações médicas (imagens médicas) num formato eletrônico, estruturando um protocolo. O padrão prevê diversas modalidades de imagens médicas, como imagens providas de equipamentos de tomografia computadorizada, ressonância magnética, ultrassom, eletrocardiograma, entre outras.

Uma imagem DICOM é composta por 2 itens principais, uma matriz contendo os pixels da imagem e um conjunto de meta-informações. Essas informações contêm, por exemplo, o nome do paciente, a modalidade da imagem e a posição da imagem em relação ao espaço (no caso de tomografia e ressonância)[4].

Os arquivos DICOM aqui utilizados foram obtidos por meio de tomografia computadorizada.

Na figura 1 podemos observar uma reconstrução tridimensional dos arquivos DICOM que foi utilizado pelos médicos para a visualização das fraturas. Na figura 2 observa-se os mesmos arquivos carregados no InVesalious.



Figura 1 : Reconstrução Tridimensional para a visualização das fraturas em 2D.

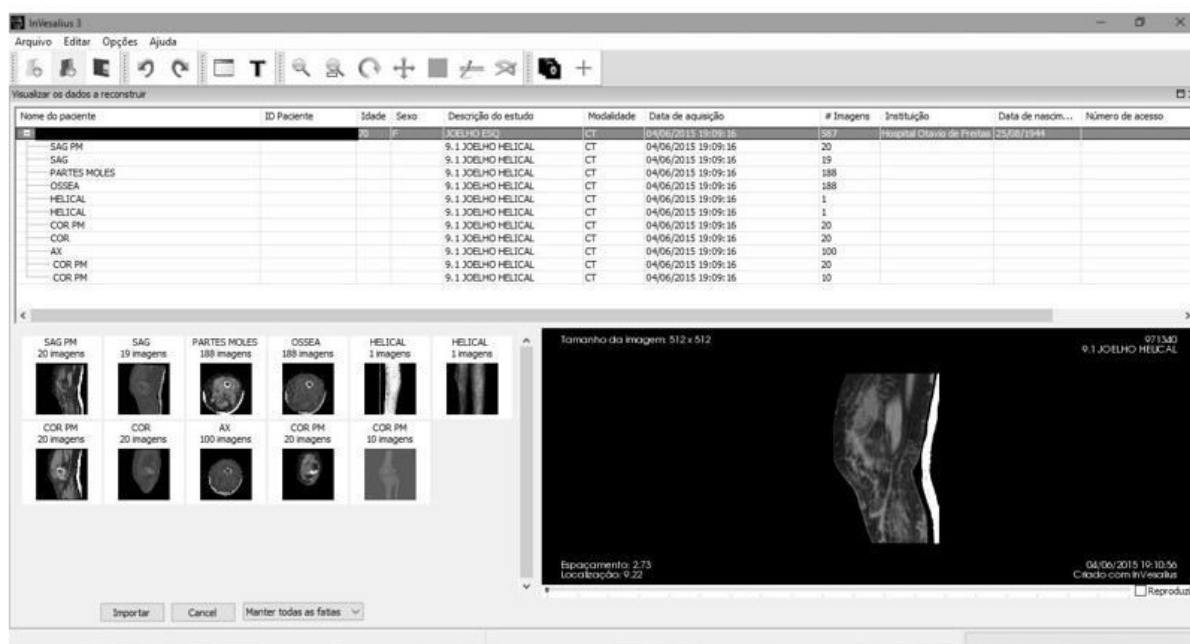


Figura 2 : Arquivos DICOM da articulação do joelho esquerdo carregados no software InVesallius

2.2 Segmentação

Para selecionar o tipo de tecido desejado(ósseo) foi utilizado o recurso de Segmentação no InVesallius.

Limiar é uma técnica de segmentação de imagens que permite selecionar da imagem somente os pixels cuja intensidade está dentro de um limiar definido pelo usuário. O limiar é definido por dois números, limiares inicial e final, também conhecidos como thresholds mínimo e máxima [4].

O InVesallius possui uma opção semiautomática de segmentação de imagem. A segmentação é feita utilizando a escala de Hounsfield (HU), uma escala quantitativa que descreve a média de absorção de radiação do tecido. As imagens de tomografia computadorizada são geradas em níveis de cinza, as quais depois são traduzidas na escala HU. A escala de Hounsfield para diversos tecidos do corpo humano pode ser visualizada na Tabela 1.

Antes de iniciar a Segmentação é necessário configurar uma máscara. A máscara é uma imagem com a região selecionada colorida e sobreposta sobre a imagem original.

Selecionada a faixa de limiar adequada para o modelo proposto o próximo passo é criar uma superfície 3D. O processo de segmentação das imagens para joelho bem como a configuração da máscara podem ser vistos na figura 3.

Material	Limiar inicial	Limiar final
Esmalte (Adulto)	1553	2850
Esmalte (Criança)	2042	3021
Osso	226	3021
Osso Compacto (Adulto)	662	1988
Osso Compacto (Criança)	586	2198
Osso Esponjoso (Adulto)	148	661
Osso Esponjoso (Criança)	156	585
Personalizado	Def. Usuário	Def. Usuário
Tecido Epitelial (Adulto)	-718	-177
Tecido Epitelial (Criança)	-766	-202
Tecido Gorduroso (Adulto)	-205	-51
Tecido Gorduroso (Criança)	-212	-72
Tecido Muscular (Adulto)	-5	135
Tecido Muscular (Criança)	-25	139
Tecidos Moles	-700	225

Tabela 1 : Limiares pré-definidos para alguns materiais

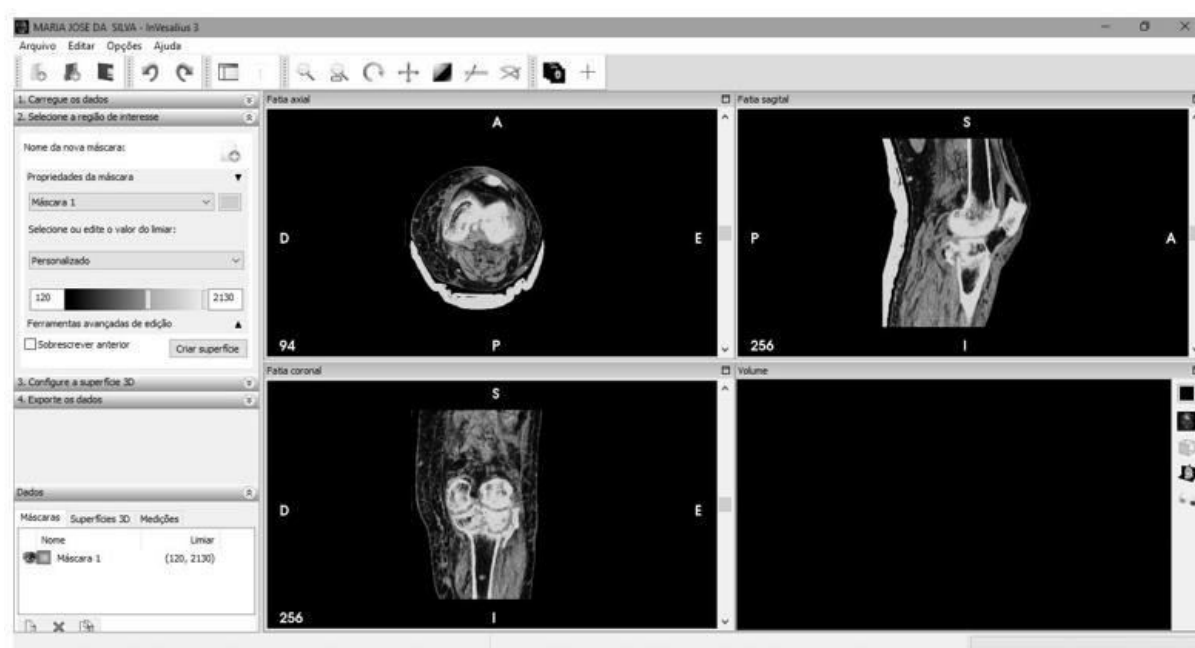


Figura 3: Segmentação : Configuração da máscara adequada para a criação do modelo 3D.

2.3 Criação do Modelo 3D

No InVesalius, a superfície 3D é gerada com base em um modelo segmentado (obtido a partir da segmentação das imagens). O método utilizado para gerar a superfície é o algoritmo *marching cubes*. Resumidamente, o algoritmo transforma os *voxels* das imagens que foram "empilhadas" e segmentadas em uma malha de polígonos simples - no caso, triângulos[4].

Uma vez que as imagens das secções transversais estejam reconstruídas tridimensionalmente e aproximadas por um conjunto de faces triangulares é necessário converter a imagem tridimensional gerada para um formato que seja compreensível pelo sistema de prototipagem rápida. O InVesalius possui uma opção de exportação no formato STL.

No formato STL a superfície é subdividida logicamente em vários triângulos (faces) e as suas normais, de forma a aproximar-se o máximo possível do modelo CAD. O arquivo STL consiste nas coordenadas X, Y e Z dos três vértices que compõem cada um dos triângulos da superfície[5].

Na figura 4 observa-se o modelo do joelho esquerdo reconstruído com auxílio do InVesalius. Na figura 5 é possível notar a região fraturada, que corresponde ao platô tibial.



Figura 4: Modelo Tridimensional reconstruído com o InVesalius



Figura 5 : Modelo reconstruído com o InVesalius : Observe que a área de fratura compreendeu parte do platô tibial

2.4 Reparação do Modelo

Ossos são órgãos esbranquiçados, muito duros. É uma forma especializada de tecido conjuntivo cuja a principal característica é a mineralização de sua matriz óssea. O osso é um tecido vivo, dinâmico e complexo. Uma forma sólida de tecido conjuntivo, altamente especializado. O osso é formado por vários tipos de tecidos diferentes : tecido ósseo, cartilaginoso, conjuntivo denso , epitelial, adiposo, nervoso e vários tecidos formadores de sangue[6].

Devido a essa diversidade de tecidos que compõem os ossos a possibilidade de haver a segmentação de uma área indesejada é muito grande. Além do mais, devido ao caráter poroso que os ossos apresentam, quando o modelo tridimensional é gerado são encontradas áreas em seu interior que foram segmentadas corretamente , e outras que não, o que ocasiona em um excesso de malhas que torna o modelo praticamente impossível de ser impresso.

Para que um modelo possa ser impresso tridimensionalmente é necessário que ele represente um volume completamente fechado. Modelos 3D digitalizados a partir de objetos físicos, como uma tomografia de um órgão, frequentemente apresentam toda a sorte de problemas, como faces faltantes ou que se cruzam, etc.

Para tanto, as imagens reconstruídas com InVesalius precisaram passar por um processo de reparação que serviu para remover malhas extras que foram criadas indevidamente e preenchimento de lacunas para que a modelo pudesse ser impresso corretamente.

Para a reparação do modelo foi utilizado o software gráfico Blender. O Blender é um software livre de código aberto para modelagem, animação, texturização , renderização , edição de vídeo e criação de aplicações interativas em 3D.

Para a reparação do modelo, a tíbia, juntamente com a fíbula, teve de ser separada do fêmur. Ambos foram reparados separadamente. Na figura 6 observa-se as partes separadas e postas lado a lado.



Figura 6 : Tibia e Fíbula (esquerda), Fêmur (Direita)

A figura 7 mostra a quantidade de malhas desnecessárias que foi gerada a partir do Invesalius. Após os reparos, que não foram poucos, o modelo ficou mais parecido com o que é representado na figura 8.



Figura 7 : Platô tibial antes dos reparos



Figura 8 : Platô tibial reparado

É notável que houve uma simplificação da geometria do modelo após os reparos. Depois de terem sido feitos reparos estruturais os modelos foram limpos e suavizados. Os modelos digitais finais podem ser vistos na figura 9.



Figura 9 : Tibia e Fibula (esquerda), Fêmur (Direita)

A partir deste momento os modelos já se encontram aptos para serem mandados para o software da impressora e finalmente serem impressos.

2.5 Fabricação de Modelos Anatômicos

As impressoras 3D possuem um custo, modo de operação, material e apelo bem diferente das demais formas de prototipagem rápida, o que as enquadra em um mercado bem diferenciado.

O projeto RepRap tem como objetivo produzir um software grátis e de código aberto para impressoras 3D, cujas especificações são liberadas sobre uma GNU (General Public Licence). A Impressora é replicável sendo capaz de imprimir muitas de suas próprias partes plásticas.

As impressoras 3D desenvolvidas pelo projeto RepRap tem como funcionamento básico a extrusão plástica e a deposição em camadas. A impressora funciona de forma semelhante a uma máquina com CNC (Computer Numerical Control) de usinagem, exceto que a ferramenta da impressora 3D é um extrusor plástico, que deposita o material, ao invés de uma ferramenta de usinagem que “esculpe” a peça a partir de um bloco [7]. A impressora é então composta por uma mesa que desliza sobre um eixo Y, e um bico extrusor que desliza sobre um eixo X e pode também ter sua altura regulada ao longo de um terceiro eixo Z. Esses eixos são movimentados por motores de passo, que assim como a temperatura do bico, são controlados por um circuito eletrônico integrado.

As máquinas profissionais de prototipagem rápida tem custos ainda muito alto para setores em desenvolvimento. No entanto, impressoras caseiras mostraram ser uma alternativa econômica na fabricação de peças que não precisem ser fabricadas com materiais biocompatíveis[8].

A figura 10 mostra um modelo de impressora 3D similar ao que foi utilizado neste projeto.



Figura 10 : Modelo de impressora 3D utilizado neste projeto

Uma vez segmentado, reconstruído, reparado e exportado no formato STL, o arquivo pode ser então processado por um software de fatiamento. Esse software é responsável por dividir o sólido em camadas e projetar o trajeto que o bico extrusor deve fazer para depositar o plástico de modo a formar cada uma dessas camadas.

O software de fatiamento Slic3r foi utilizado durante este trabalho. O Slic3r é resultado de uma comunidade de pessoas que trabalham colaborativamente no GitHub, discutindo novas funcionalidades e testando-as. É um projeto independente que tem por objetivo promover o crescimento das tecnologias de impressão 3D.

Após configurado de acordo com as configurações da impressora, foram inseridas informações a respeito da altura da camada que achamos ser mais apropriada para o modelo, velocidade de impressão, etc. No software também é possível alterar opções que serão específicas para o modelo a ser impresso, como presença ou não de suporte para peças suspensas, densidade das peças, saída de adesão e outras.

Na figura 11 observa-se a terceira vértebra lombar (L3) sendo fatiada. Percebe-se que para esse modelo foi necessário a criação de uma estrutura de suporte para que a peça pudesse ser impressa corretamente. Quanto à forma as vértebras são classificadas como ossos irregulares.

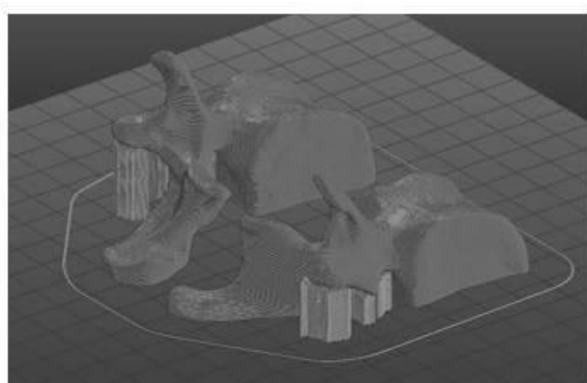


Figura 11 : Modelo da terceira vértebra lombar (L3) fatiado

O joelho já havia sido separado antes para reparos. Para evitar o uso de estruturas de suporte, que oferecem acabamento razoável, optou-se por cortar as peças de modo que não houvesse necessidade de uso dessas estruturas. Na figura 12 observa-se parte do fêmur cortado e fatiado. Na figura 13 observa-se a partes da tíbia e fibula no mesmo estado.

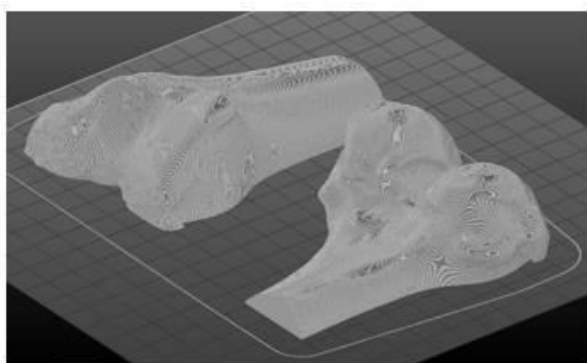


Figura 12 : Fêmur cortado e fatiado

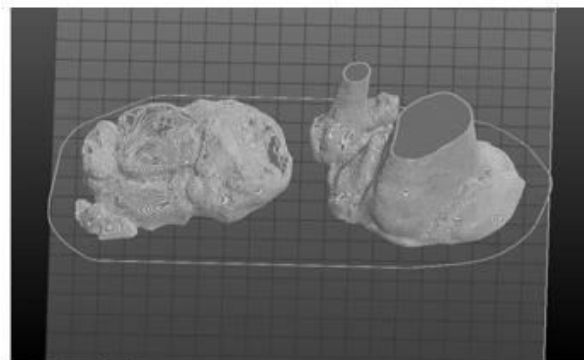


Figura 13 : Tibia e Fibula cortadas e fatiadas

Todos os modelos utilizados neste trabalho foram impressos com o material plástico PLA de coloração vermelha. O PLA (Ácido Polilático) é um termoplástico biodegradável, compostável e reciclável. A escolha do material deveu-se ao seu baixo custo de aquisição e por oferecer um melhor acabamento, quando em comparação ao ABS.

Os modelos foram impressos com 30% de densidade. A densidade de um modelo é a porcentagem da peça que será preenchida. No caso, 30% de material e 70% de ar constituem a estrutura interna das peças. Na tabela 2 é possível conferir os modelos que fizeram parte do trabalho, o tempo necessário e a quantidade de material utilizada por peça. O diâmetro do filamento que foi utilizado na impressão foi de 3mm.

Modelo	Tempo	Material
L1	2h:28m:4s	4201mm
L2	2h:43m:00s	4516mm
L3	2h:44m:31s	4695mm
L4	2h:30m:28s	4314mm
L5	2h:40m:58s	4766mm
Fêmur	5h:57m:00s	11586mm
Platô	6h:14m:56s	11955mm

Tabela 2 : Modelos , tempo e material

3 Resultados e Discussões

Neste trabalho foram impressos um modelo de coluna lombar e da articulação de um joelho esquerdo.

Os arquivos necessários para a impressão da coluna lombar foram obtidos por meio da base de dados BodyParts3D. A coluna impressa obtida pode ser visualizada

na figura 14. O motivo de termos optado pela impressão de um arquivo que já se encontrava pronto reforça o potencial didático que as tecnologias de prototipagem rápida podem desempenhar. Qualquer pessoa que possua uma impressora 3D pode fazer download dos arquivos e imprimir um modelo próprio. O modelo de coluna lombar impresso aqui passará a ser utilizado nas aulas da disciplina de biomateriais e biomecânica do mestrado de engenharia de sistemas da Universidade de Pernambuco.

Os arquivos DICOM, para o joelho, foram obtidos por meio da tomografia computadorizada de uma paciente idosa (70 anos). A paciente encontrava-se internada no Hospital Otávio de Freitas e o seu caso foi considerado pelos médicos como de média complexidade. A região de fratura compreendeu o platô tibial esquerdo. O fêmur não apresentava nenhum dano aparente, mas foi impresso mesmo assim para fim didático. As figuras 15 e 16 mostram, nessa mesma ordem, o Fêmur, a Tíbia(fraturada) e a Fíbula, todas fabricadas pelo método de prototipagem rápida.



Figura 14 : Modelo da Coluna Lombar

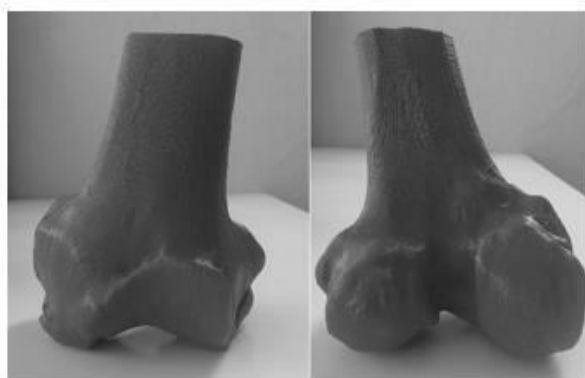


Figura 15 : Modelo do Fêmur

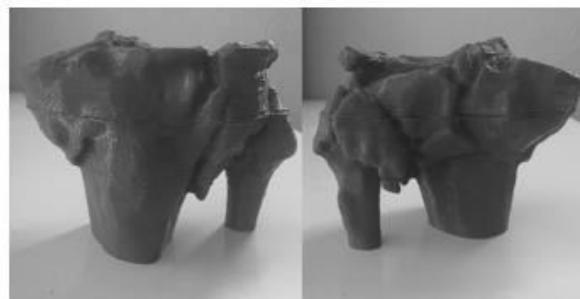


Figura 16 : Modelo correspondente ao platô tibial

Os modelos aqui fabricados foram analisados por médicos ortopedistas, que os classificaram como ótimo recurso didático, no caso da coluna lombar, e como excelente meio de visualização da fratura que percorreu o platô tibial da paciente. O método de intervenção cirúrgico utilizado no joelho, consistiu, de maneira sucinta, na elevação do platô tibial que encontrava-se rebaixado, sendo necessária a colocação de placas de titânio e parafusos de fixação.

4 Conclusões

Os modelos impressos neste trabalho mostram o potencial que as técnicas de prototipagem rápida tem a oferecer quando aliadas a medicina. Seja para fins de planejamento cirúrgico, para visualizações de lesões e fraturas ou puramente didáticos, a prototipagem rápida possui um importante papel na área de saúde. Porém, infelizmente, isso ainda não é uma atividade muito comum em nosso cotidiano. Os médicos continuam a visualizar fraturas por meio das imagens obtidas por meio de tomografia computadorizada ou de ressonância magnética que lhes voltam uma imagem bidimensional da lesão, tendo o médico que tentar imaginar como aquela fratura vista em 2D está alocada dentro do paciente.

Ainda há impasses que impedem que esse tipo de tecnologia se torne algo mais comum. Podemos citar, por exemplo, o tempo que se necessita para obter-se um protótipo físico do modelo que se deseja. Embora o nome do método seja prototipagem rápida o tempo necessário para a obtenção de um simples modelo pode passar de horas. O que se espera é que com o avanço da tecnologia, sejam descobertos novos materiais e métodos que permitam que esse tempo diminua sem diminuir, ou até aumentar, a qualidade das peças.

Referências

- [1] N. Volpato. Prototipagem Rápida. Editora Blucher. 2007.

- [2] A. F. F. Antas. Utilização das Tecnologias de Prototipagem Rápida na Área Médica . Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Dezembro 2007.
- [3] JÓIA FILHO, P.; CAPELLO SOUSA, E. A. Re-Construção e Geração de Malhas em Estruturas Biomecânicas Tridimensionais para Análise por Elementos finitos. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 15-20, 2009
- [4] P. H. J. Amorim, T. F Moraes, F. S Azevedo, J. V. L Silva. Software Invesalius– Guia do Usuário. Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI)
- [5] Kai, Chua Chee; Meng, Chou Siaw; Ching, Lin Sing; Hoe, Eu Kee; Fah, Lew Kok; Rapid Prototyping Assisted Surgery Planning; Int Journal Adv Manuf Technol, n.14; 1998
- [6] Goss, Charles Mayo. Gray Anatomia. 29 ed. Rio de Janeiro : Guanabara Koogan S.A. , 1988
- [7] F. M. Azevedo. Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D. Universidade de São Paulo. Novembro 2013.
- [8] A. Lanzotti, M. Martorelli, G. Staiano, " Understanding Process Parameter Effects of RepRap Open-Source Three-Dimensional Printers Through a Design of Experiments Approach," J. Manuf. Sci. Eng. 137, 011017 (2015)

