

Estudo de caso: Diagnóstico e ações de recuperação estrutural da Barragem de Jucazinho/PE

Case study: Diagnosis and actions of structural recovery of the Jucazinho/PE

João Batista de Lima Filho ^{1,2}  orcid.org/0000-0001-7061-1200

¹ Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil,

² Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica de Pernambuco, Brasil.

E-mail do autor principal: joabatista9780@gmail.com

Resumo

Em 2010 foi promulgada a Lei de Segurança de Barragens que tem dentre seus objetivos implementar uma cultura de manutenção preditiva e preventiva nas barragens brasileiras. Este artigo visa descrever as principais manifestações patológicas na Barragem de Jucazinho e seus possíveis tratamentos. A metodologia envolve: a revisão da literatura; a caracterização da barragem de Jucazinho; a compilação das anomalias identificadas no corpo do barramento; e a proposição de técnicas para recuperação. Através do relatório da consultoria contratada pelo Departamento de Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) foram identificadas as seguintes anomalias na estrutura: presença de bexigas no extravasor principal, onde o tratamento dar-se-á pela aplicação de uma argamassa de alta resistência; danos na estrutura da bacia de dissipação, onde será construído um salto em esqui ao final do extravasor principal; fissuras e trincas observadas ao longo do barramento que serão tratadas com injeção de resina poliuretânica; e deposição de material fino além de infiltração na galeria, que serão corrigidas com injeção de argamassa a cada 3,0 m ao longo do barramento até o estrato rochoso. Ao final deste artigo, fica evidente a necessidade de adoção de uma sistemática de inspeções de segurança para identificar prematuramente possíveis manifestações patológicas.

Palavras-Chave: Engenharia Civil; Barragem de Jucazinho; Recuperação Estrutural.

Abstract

In 2010, the Dam Safety Law was enacted, which aims to implement a culture of predictive and preventive maintenance in Brazilian dams. This article aims to describe the main pathological manifestations in the Jucazinho Dam and its possible treatments. The methodology involves: a literature review; the characterization of the Jucazinho dam; compilation of anomalies identified in the bus body; and proposing techniques for recovery. Through the report of the consultancy contracted by the Department of National Works Against Drought (DNOCS), the following anomalies in the structure were identified: presence of bladders in the main spillway, where the treatment will be given by the application of a high-strength mortar; damage to the structure of the dissipation basin, where a ski jump will be built at the end of the main overflow; cracks and cracks observed along the dam that will be treated with injection of polyurethane resin; and deposition of fine material in addition to infiltration into the gallery, which will be corrected with mortar injection every 3.0 m along the dam to the rock layer. At the end of this article, it is evident that there is a need to adopt a system of safety inspections to identify possible pathological manifestations prematurely.

Key words: Civil Engineering; Dam of Jucazinho; Structural Recovery.

1 Introdução

O Brasil é um país de dimensões continentais e, em termos de recursos hídricos, com grandes diferenças de distribuição espaço-temporal destes recursos. Para lidar com os longos períodos de estiagem, uma das soluções encontradas e bastante difundida na região Nordeste do país é a construção de barragens para reservar a água dos períodos de chuva.

As barragens necessitam de manutenções periódicas que visam o prolongamento da sua vida total, conforme preceitua a NBR 5674/12 [1]. Entretanto, seja por motivos culturais, pela falta de conhecimentos técnicos ou por negligência, a falta de manutenção de obras desse porte oferece um risco potencial de perdas humanas, ambientais e econômicas num eventual colapso. A maioria dos proprietários de barragens entendia que a manutenção de uma barragem se resumia a capinar e manter a tomada d'água funcionando. Com a recente criação de dispositivos legais essa cultura está sendo, aos poucos, modificada.

O Art. 1º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, "Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB)." (Brasil, 2010) [2]. Este instrumento normativo estabeleceu critérios de enquadramento das barragens com relação à categoria de risco e ao dano potencial associado. Essa lei trouxe um grande avanço ao conceituar e definir os responsáveis pela manutenção da barragem como Empreendedor e atribuindo aos órgãos responsáveis pela outorga de construção a função de fiscalização dos fundamentos da PNSB.

Em Pernambuco, o órgão fiscalizador das barragens de acumulação de água, e responsável pela implantação da Lei, é a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). As atividades neste sentido tiveram início em 2012, com a capacitação da equipe, tendo sido o primeiro levantamento das barragens a serem fiscalizadas enviado para a Agência Nacional de Águas (ANA) apenas em 2013.

Foram solicitados, inicialmente, os últimos relatórios de inspeção que os órgãos possuíam de cada uma das barragens sob sua responsabilidade e que se enquadravam na Lei. Neste ponto, ocorreu o recebimento de ficha de inspeção da Barragem de Jucazinho, de responsabilidade do Departamento

Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), datada de 2004, no qual o engenheiro responsável já indicava a necessidade de uma vistoria e análise por parte de um especialista em Concreto Compactado a Rolo (CCR), tendo em vista que foi observado um fluxo excessivo de água nos drenos e carreamento de material. Esses dois problemas, segundo a ficha de inspeção, indicavam um nível de alerta para a barragem.

Ainda em 2004, uma equipe de professores da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) em inspeção constatou uma descarga anormal dos drenos da ombreira esquerda, além de uma deposição no interior da galeria de material muito fino, provavelmente lixiviado do CCR.

Em 2011 o DNOCS contratou uma empresa para reavaliar as anomalias identificadas em 2004 e elaborar projetos para a recuperação do barramento.

2 Justificativa

A barragem de Jucazinho é a 3ª maior em volume de acumulação do Estado de Pernambuco com 327 hm³, abastecendo 15 municípios e cerca de 800 mil pessoas. Mesmo com as chuvas de 2017 encontrava-se em situação de colapso no abastecimento de água desde setembro de 2016 [3].

A grande importância no abastecimento de água e o risco de inundação de cidades à jusante num eventual colapso motivaram a escolha desse barramento para o presente artigo.

3 Objetivos

Descrever as principais manifestações patológicas em barragens de acumulação de água e avaliar as anomalias encontradas na barragem de Jucazinho e as terapias propostas nos estudos contratados pelo DNOCS;

4 Principais Manifestações Patológicas encontradas em Barragens de Concreto

As manifestações patológicas em estruturas de concreto têm suas origens em qualquer uma das atividades dos processos da construção civil, ou seja, na concepção, na execução ou no uso [4]. Os

sistemas de deterioração do concreto podem ser divididos em:

- i) Mecânico – relacionado à ação mecânica do meio na estrutura;
- ii) Físico-químico – relacionado à ação físico-química na estrutura;
- iii) Corrosão de armadura – relacionado aos fenômenos eletroquímicos.

A deterioração do concreto das estruturas do barramento deve ser combatida de modo que se possa manter a segurança operacional do barramento. Cabe salientar que os equipamentos e instrumentos que compõem o barramento devem sofrer manutenção periódica para reduzir a possibilidade de interrupções na operação.

As principais manifestações patológicas encontradas na Barragem de Jucazinho são: abrasão, cavitação e trincas e fissuras, conforme apresentado a seguir.

4.1 Abrasão

O principal mecanismo responsável pela deterioração por abrasão em barragens de concreto são as partículas sólidas carregadas pela água, especialmente, em regiões sujeitas a grandes velocidades de água, como é o caso das bacias de dissipação.

A erosão por abrasão se caracteriza pela remoção de agregados “moles” ou da argamassa em torno dos agregados; pela perda de parte do concreto da superfície; e, às vezes, pela severa destruição do concreto por ocasionar um aspecto de superfície jateada. Este tipo de desgaste contribui para o surgimento de outras manifestações patológicas, pois torna a superfície do concreto mais poroso [5].

Entre os métodos mais comuns para tratar as superfícies de concreto desgastadas pela abrasão, quando se faz impossível eliminar as causas, temos o de combater: na construção, através do uso de concreto adequadamente dosado; na reparação, com concreto de alta resistência; e na reabilitação estrutural, através do uso de concreto com polímeros ou com proteção de resinas epoxídicas [6].

4.2 Cavitação

Segundo Kormann [7], o processo de cavitação consiste na formação de microbolhas provocadas pela baixa pressão em locais onde a velocidade de escoamento é excessiva. A principal característica do processo é a instabilidade dessas microbolhas que quando transportadas para regiões com pressões mais altas colapsam liberando uma grande quantidade de energia.

O desgaste do concreto por cavitação é caracterizado por uma superfície irregular, áspera, rugosa, com agregados à vista, dando aspecto de uma “bicheira”; superfície esburacada de pouca profundidade eventualmente mostrando que o agregado foi arrancado. Geralmente esse fenômeno ocorre, principalmente, a jusante de juntas de contração em soleiras de vertedouros e bacias de dissipação.

De acordo com Kormann [7], é ideal que as medidas mitigadoras para combater o desgaste por cavitação sejam previstas já na concepção da obra hídrica, evitando curvaturas abruptas ou desníveis, além de especificar, quando possível, o uso de concretos especiais, com blindagem ou com película de proteção.

A cavitação, normalmente, é produzida em regiões onde o fluxo da água se separa da superfície do concreto, seja pela mudança brusca de direção ou pela passagem de água em grande velocidade sobre uma superfície de escoamento com irregularidades superficiais.

4.3 Trincas e fissuras

As fissuras podem ser consideradas uma manifestação patológica que, mesmo sendo um dano de ocorrência mais comum, é aquela que mais chama a atenção dos leigos [8].

Na fase de construção as fissuras podem ter como origem [8]:

- i) Retração plástica;
- ii) Assentamento plástico;
- iii) Movimentação de formas e escoras;
- iv) Movimentação das armaduras;
- v) Retração Hidráulica; e

vi) Retração Térmica.

Em uma barragem, a identificação deste tipo de anomalia é primordial para evitar fluxos indesejáveis que comprometam a estanqueidade da obra e venham a provocar erosão [5].

A fissura aberta pode facilitar o ingresso de agentes agressivos e ser uma das causas de mais deterioração do concreto.

Na fase operacional, fissuras podem aparecer devido a recalques diferenciais na fundação, tensões de origem térmica, sobrecarga excessiva da barragem, além de armadura insuficiente onde se tratar de concreto armado.

As medidas corretivas são diversas e variam de acordo com a causa e a localização da anomalia. Eventualmente pode ser necessário o rebaixamento do reservatório e o tratamento da fundação, com injeção de epóxi para selar as fissuras e restaurar a monoliticidade do concreto, ou utilizar membrana sobre as fissuras para eliminar eventuais infiltrações que estejam ocorrendo.

Em casos mais simples, o tratamento pode ser feito com injeção de calda de cimento ou resina. E quando se tratar de concreto armado, de uma limpeza e remoção do concreto solto e posterior injeção de epóxi nas fissuras, refazendo o acabamento superficial e, eventualmente, um acréscimo de armadura.

5 Metodologia

A pesquisa em questão se trata de um estudo de caso que visa expor as manifestações patológicas identificadas na barragem de Jucazinho pela consultoria contratada pelo DNOCS em 2011 procurando descrevê-las e indicar os possíveis tratamentos. Para alcançar os objetivos propostos, essa metodologia foi dividida em:

i) Elaborar uma revisão bibliográfica sobre as principais anomalias encontradas em barragens de acumulação de água, bem como, suas ações corretivas mais comuns;

ii) Caracterizar a estrutura da barragem de Jucazinho;

iii) Compilação das anomalias encontradas, considerando os locais das ocorrências, sua gravidade e terapias recomendadas para o tratamento.

6 Estudo de Caso: Barragem de Jucazinho

6.1 Caracterização

A barragem de Jucazinho é parte integrante de um conjunto de obras planejadas em 1978 para o controle de cheias no rio Capibaribe e situa-se entre os municípios de Surubim e Cumarú. A construção ocorreu entre os anos de 1996 e 1998 e a técnica construtiva adotada foi o Concreto Compactado a Rolo (CCR) que dentre suas inúmeras vantagens possibilitava uma produtividade maior com custo reduzido comparado aos com outros sistemas. O barramento possui uma altura máxima de 63,20 m e 442,0 m de extensão pelo coroamento, o volume de CCR empregado na construção foi de 358.479 m³ e 68.271 m³ em concreto convencional. O maciço do barramento tem um paramento de montante vertical e talude de jusante vertical a partir da crista até a cota 285,0 e a partir daí uma inclinação de 0,80V;1,0H até o estrato rochoso da fundação [9].

A estanqueidade da barragem é atribuída à laje vertical de montante de concreto convencional, com espessura de 0,80 m da base até a cota 269,0 m e a partir daí até a crista com espessura de 0,60 m. Essa laje teve um consumo de cimento da ordem de 300,0 kg/m³. Nas juntas de dilatação foram utilizadas veda juntas simples de PVC, tipo Fungenband 0-35. O tipo de cimento utilizado foi o Portland Pozolâmico o consumo de cimento no traço de CCR variou de 100 kg/m³ da fundação até a cota 241,0 m, piso do trecho central da galeria, e a partir daí até a crista para 80 kg/m³ [9].

A barragem conta com um extravasor principal de comprimento de 170,0 m, escalonado em degraus de espelhos variáveis. A soleira situa-se na cota de 292,0 m, a lâmina máxima prevista em projeto é de 6,0 m o equivalente a uma descarga máxima de 5.446,69 m³/s considerando um tempo de retorno de 1000 anos. A obra conta com dois extravasores laterais com a soleira situada na cota de 295,0 m e comprimento de 57,0 m, cada. É previsto para esses dois extravasores laterais uma lâmina máxima de 3,0 m, o que corresponde a uma descarga máxima de 645,65 m³/s, cada [10].

6.2 Extravasar Principal

No relatório da consultoria contratada pelo DNOCS [9] foi verificado a existência de bexigas no concreto localizadas no extravasor principal a montante. Esse tipo de dano ao concreto é, geralmente, característico de erosão por abrasão.

O tratamento recomendado para essa manifestação é a recuperação da área degradada com a aplicação de argamassa de alta resistência.



Foto 1: Detalhe da bexiga com a ferragem exposta a montante do creager do extravasor principal. Fonte: DNOCS [9], 2011

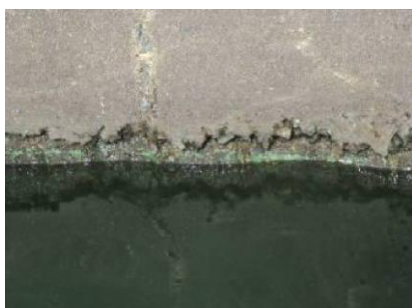


Foto 2: Bexiga com a ferragem exposta a montante do creager do extravasor principal. Fonte: DNOCS [9], 2011.

6.3 Bacia de dissipação

No relatório da consultoria contratada pelo DNOCS [9] consta que as chuvas ocorridas em 2004 provocaram um extravasamento de uma lâmina d'água de 1,40 m que foi suficiente para danificar a bacia de dissipação. Essa ocorrência chama a atenção, pois o extravasor principal do barramento foi projetado para vazões específicas de 28,60 m³/s/m decorrente de um tempo de retorno de 1000 anos. Segundo Kormann [7], é recomendável que a velocidade do escoamento não seja superior a 12 m/s.

Verifica-se que o extravasor principal foi projetado prevendo velocidades muito acima da recomendada podendo vir a sofrer erosão por cavitação. Para evitar o aparecimento dessa manifestação, bem como, evitar novos danos à bacia de dissipação foram sugeridas pela consultoria duas soluções possíveis [9]:

i) Preencher os degraus do extravasor com concreto convencional, a fim de obter uma calha lisa utilizando a estrutura do salto em esqui para dissipar a energia, entretanto, essa solução representaria um custo bem maior de execução;

ii) Manter a estrutura em degraus existente e implantar ao final do extravasor o salto em esqui cuja concha seria elevada para acima do nível de água a jusante para cheias de 10.000 anos. Para vazões mais frequentes haveria uma dissipação considerável de energia sobre os degraus, contudo para passagens de cheias de maior recorrência com vazões acima de 15 m³/s/m poderia causar danos aos degraus decorrente da cavitação.



Foto 3: Vista do trecho imediatamente à jusante do extravasor, onde deverá ser recuperada a bacia de dissipação e implantada a estrutura em salto em esqui. Fonte: DNOCS [9], 2011.

6.4 Maciço da barragem

No maciço da barragem foram identificadas treze juntas de dilatação. No bloco esquerdo de transição, nas imediações do extravasor lateral da ombreira direita, observou-se um conjunto de fissuras, que culminou com a trinca transversal, desenvolvida após a construção a qual se propagou de montante à jusante pela crista, aprofundando-se até a cota 288,86 m no maciço rochoso da ombreira direita de fundação. Quando o nível d'água se eleva além da cota 288,86 m, ocorrem infiltrações de água através dessa trinca, embora já tenha sido feito um

tratamento preliminar com injeção de nata de cimento pelo DNOCS [9].

No caso específico da Barragem Jucazinho devido à forma do vale, deveriam ter sido previstas juntas adicionais nos pontos de inflexão da fundação, de modo a prevenir o aparecimento de trincas. Para o tratamento das trincas existentes está prevista, pelo projeto de recuperação, a injeção de resina poliuretânica [9].



Foto 4: Trinca subvertical na laje vertical de montante, com 5,0 m de extensão e abertura obturada com argamassa, situada na ombreira direita. Fonte: DNOCS [9], 2011.



Foto 5: Trinca na laje de montante da ombreira esquerda com 4,0 m de extensão e 3,00 mm de abertura. Fonte: DNOCS [9], 2011.

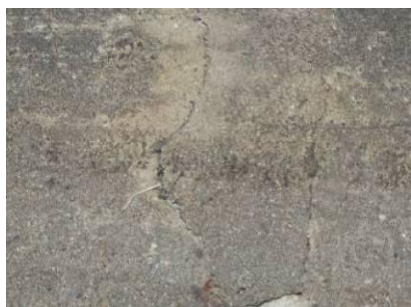


Foto 6: Trinca a montante do creager do extravasor principal com 2,00 m de extensão e 6,0 mm de abertura. Fonte: DNOCS [9], 2011.

Foi observada uma desagregação nos degraus à jusante dos extravasores laterais, como também, o desenvolvimento de vegetação rasteira (Foto 2). Tal indício é referente à possível surgência de água que pode estar ocorrendo no barramento [9]. No projeto de recuperação está prevista a injeção de resina de poliuretano para eliminar as infiltrações identificadas.



Foto 7: Degraus em concreto no trecho de jusante da barragem, na ombreira esquerda bastante umedecidos e desagregados. Fonte: DNOCS [9], 2011.



Foto 8: Vegetação nos degraus do talude de jusante da barragem, devido às infiltrações de água. Fonte: DNOCS [9], 2011.

6.5 Galerias

O interior da galeria da barragem de Jucazinho concentrou o maior número de ocorrências de manifestações patológicas. Ainda em 2004 já havia sido observada a surgência concentrada de água e a deposição de material muito fino, provavelmente lixiviado do CCR, e de outro material rochoso e limpo no interior da galeria indicando um possível deslocamento do material de fundação.

Foi verificado também que, quando a barragem atingiu a cota 293,5 m houve a ruptura de um dreno nas proximidades de uma junta. É possível que tenha

ocorrido uma ruptura localizada do veda junta, em uma zona de emenda, ou de uma fissura no concreto que envolve o mesmo, ou ainda uma porosidade por falta de adensamento adequado do concreto de face ao redor do veda-junta.

As infiltrações de água detectadas, na época, no interior da galeria ocorrem de forma generalizada nas paredes e no teto, medindo-se vazões totais acumuladas da ordem de 5,6 l/s, através dos danos estruturais (trincas, porosidade dos concretos, bexigas, juntas frias entre camadas de concreto, ruptura ou mal colocação dos veda-juntas etc.) verificados na laje vertical de montante [9].



Foto 9: Entrada da galeria situada nas proximidades da ombreira esquerda, verificando-se desmoronamentos no teto e no lado esquerdo a valeta de saída das águas drenadas na galeria. Fonte: DNOCS [9], 2011.



Foto 10: Fissura com 3,0 mm de abertura na parede da entrada da galeria, situada na ombreira esquerda. Fonte: DNOCS [9], 2011.



Figura 11: Surgência localizada de água na parede de montante da galeria situada na ombreira esquerda. Fonte: DNOCS [9], 2011.



Figura 12: Detalhe de um poço de alívio danificado situado na valeta de drenagem da galeria no trecho central da barragem. Fonte: DNOCS [9], 2011.



Figura 13: Detalhe de um poço de alívio danificado situado na valeta de drenagem da galeria no trecho central da barragem. Fonte: DNOCS [9], 2011.

As infiltrações, localizadas no contato do maciço com o estrato rochoso de fundação na cota 278 m, são atribuídas a um tratamento inadequado da fundação. Dessa forma o tratamento proposto foi a injeção de cimento somente no estrato rochoso em estágios a cada 3 metros. Para este tratamento a estrutura foi dividida em dois trechos: no trecho I as

injeções seriam através da crista da barragem, pois não existia galeria naquela região; o trecho do piso da galeria seria perfurado para injetar o cimento [9].

7 Considerações finais

Este artigo visa contribuir para a importância de uma sistemática de inspeções, haja vista que, foi uma inspeção periódica de segurança que iniciou o processo de investigação.

Pode-se destacar aspectos relevantes que devem ser verificados para barragens em concreto, tais como:

i) É fundamental manter a existência de uma sistemática de inspeções regulares e o registro, de forma organizada e acessível, do histórico das anomalias encontradas bem como de sua evolução;

ii) É aconselhável aproveitar as oportunidades para inspecionar o paramento de montante, sempre que ele estiver exposto, nos períodos mais longos de estiagem, por se tratar de uma estrutura que se submete a variações sazonais do nível d'água;

iii) É necessário implementar uma cultura de manutenção racionalizando o processo através de ferramentas de gestão;

iv) É importante elaborar uma metodologia para caracterização do grau de risco ao tombamento e/ou rompimento, a exemplo do já existente para edifícios de alvenaria resistente [11].

v) É imprescindível verificar se o dimensionamento da velocidade de escoamento do projeto básico está dentro do recomendável para prevenir danos à bacia de dissipação.

Reforça-se aqui a máxima de que é melhor adotar as medidas preditivas e preventivas às corretivas, tanto no que se refere aos danos estruturais, quanto no referente ao custo de sua recuperação.

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm. Acesso em 25 ago. 2017.

[3] COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO. <https://servicos.compesa.com.br/>. Acesso em 25 ago. 2017.

[4] SOUZA, VICENTE CUSTÓDIO DE. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto / Vicente Custódio Moreira de Souza e Thomaz Ripper - São Paulo: Pini, 1998.

[5] ZUCH, R. A. Manifestações Patológicas nas Estruturas em Concreto de Usinas Hidrelétricas: Levantamento de Ocorrências e Estratégias de Reparo Utilizadas. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Jun 2008.

[6] KUPERMAN, S. C. Deteriorações em Barragens de Concreto. CURSO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS. Agência Nacional de Águas, Brasília, 2011.

[7] KORMANN, A. C. M. Estudo do Desempenho de Quatro Tipos de Materiais para Reparo a Serem Utilizados em Superfícies Erodidas de Concreto de Barragens. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós- Graduação em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002

[8] SOBRINHO, C. W.A.P. Patologia das Estruturas de Concreto Armado. Notas de aula, Mar 2016.

[9] DEPARTAMENTO DE OBRAS CONTRAS AS SECAS. Volume I – Memorial Descritivo, Relatório 5 – Relatório final e projeto executivo, Fev 2013.

[10] AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. Ficha técnica da barragem, 2016.

[11] SOBRINHO, C. W.A.P. Metodologia para Caracterização de Grau de Risco ao Desabamento de Edificações em Alvenaria Resistente. Notas de aula, Ago 2009.

Referências

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

[2] BRASIL. Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010. Disponível em: 53