

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.

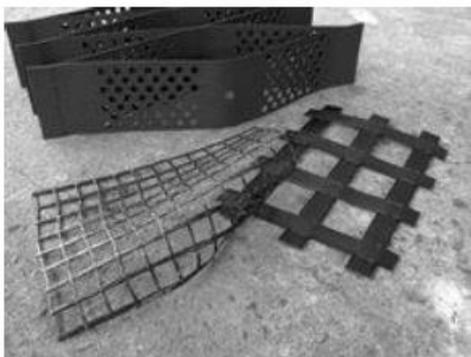


Figura 1. Amostras de geossintéticos

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 mostras 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 Incisão	Ruptura completa do elemento 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 - triangulo preto Amost. 04 - bola azul
 Amost. 05 - triangulo branco Amost. 06 - quadrado azul escuro

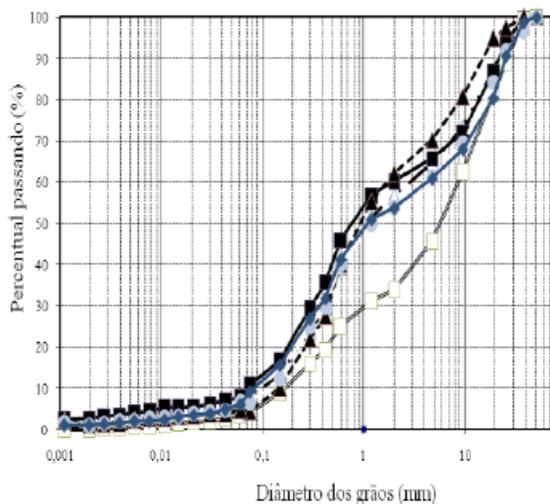


Figura 6. Curvas granulométricas do RCD-R

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/cm ³)
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 na Tabela 5. Observa-se que os valores de massa específica seca máxima e de umidade ótima apresentaram uma baixa variabilidade.

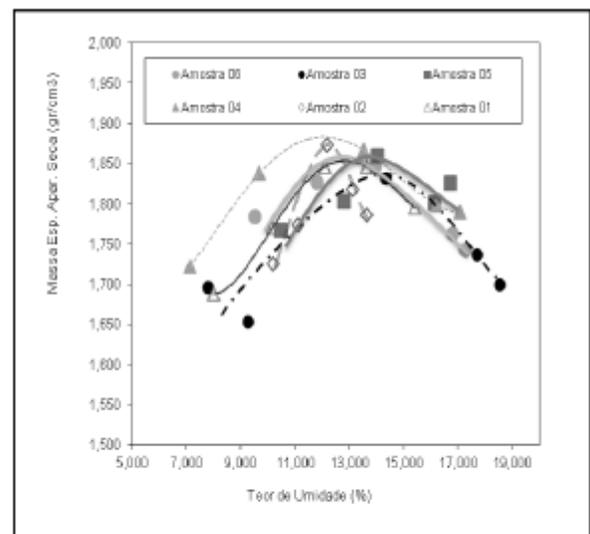


Figura 7. Curvas de compactação do RCD-R - ajeitar

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.

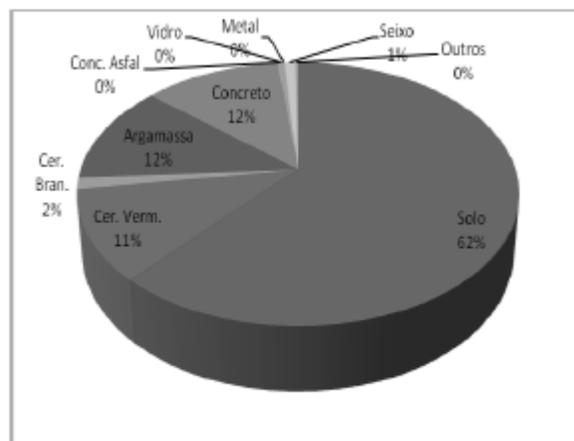


Fig 8. Comp. gravimétrica da amostra 1

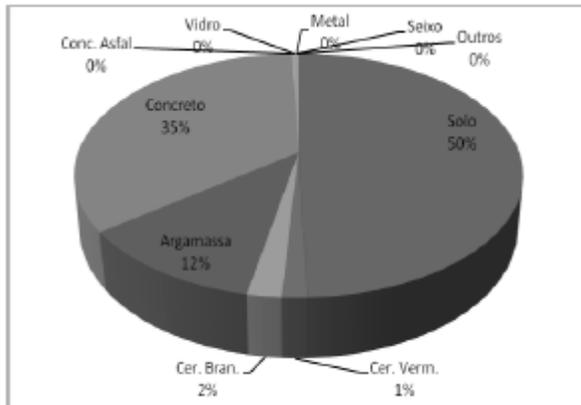


Fig 9. Comp. gravimétrica da amostra 2

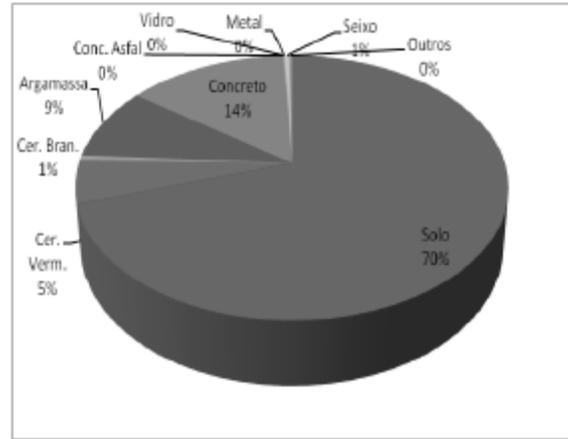


Fig 12. Comp. gravimétrica da amostra 5

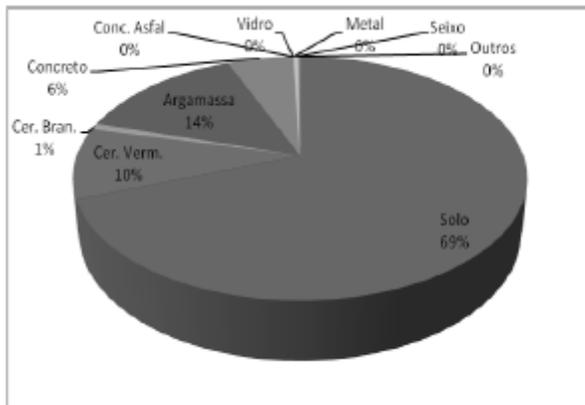


Fig 10. Comp. gravimétrica da amostra 3

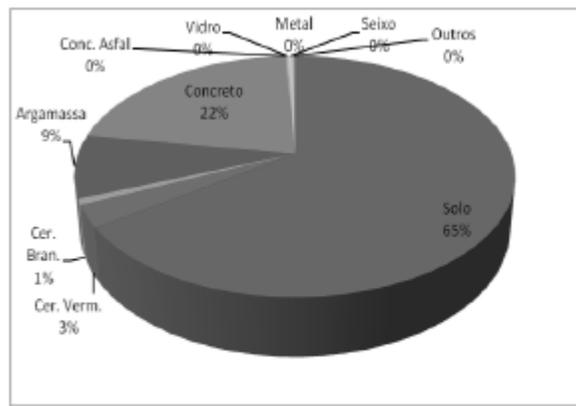


Fig 13. Comp. gravimétrica da amostra 6

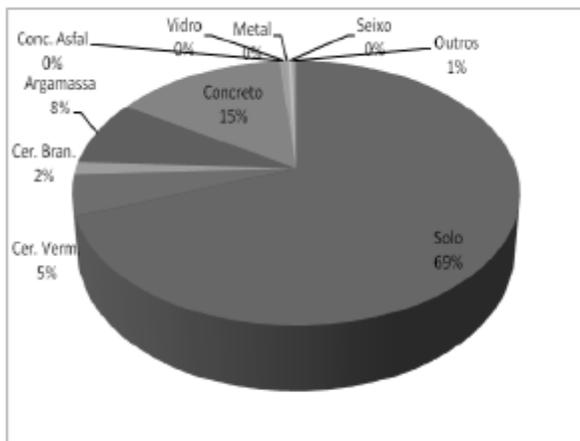


Fig 11. Comp. gravimétrica da amostra 4

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 propício 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, Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ 363p.