

Fatores de redução de resistência de geotêxtil tecido devido a danos mecânicos causados por resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R)

Reginaldo L. F. Duarte

Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife-PE, Brasil,
reginaldo_lfduarte@hotmail.com

Eder C. G. Santos

Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, Brasil,
edersantos@ufg.br

Jefferson L. Silva

Escola Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, Brasil,
jefferson@sc.usp.br

RESUMO: Atualmente a preocupação com o consumo de recursos naturais e o seu desperdício é bastante discutida na sociedade. Neste cenário, os resíduos de construção e demolição (RCD) têm sido objeto de estudos que buscam reduzir os impactos ambientais decorrentes da sua destinação inadequada. Por outro lado, apesar da vasta experiência do uso de geossintéticos em estruturas de solo reforçado (ESR) no Brasil, não existem, até a presente data, normas nacionais específicas para a execução desse tipo de obra. Visto que normas internacionais fortemente recomendam o uso de solos granulares como material de preenchimento, o emprego de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) como material de aterro em ESR apresenta-se como uma interessante opção. Contudo, para análise da viabilidade dessa proposta, há dois fatores primordiais – que podem ocorrer como uma consequência de danos mecânicos causados durante a execução da obra – a serem investigados: i) a redução da resistência e ii) a mudança do módulo de rigidez dos elementos de reforço. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar experimentalmente os danos mecânicos em geotêxtil tecido devido a danos mecânicos causados por RCD-R. Para analisar os danos mecânicos em geotêxtil tecido causados por RCD-R – coletados em usina de reciclagem –, foram reproduzidos os processos de compactação e aplicação de tensões normais usualmente observadas em campo. Os resultados dos ensaios de caracterização revelaram que o RCD-R apresentou propriedades geotécnicas apropriadas para o seu uso como material de preenchimento em ESR com geotêxtil tecido. Os resultados dos ensaios de tração isolada revelaram que a granulometria do material de preenchimento pode atuar como um fator determinante na redução da resistência do geossintético. Conclui-se que o RCD-R pode ser empregado em ESR com geotêxtil tecido, desde que as perdas de resistência sejam incorporadas na fase de projeto por meio da utilização dos fatores de redução de resistência para cada condição de campo.

PALAVRAS-CHAVE: geossintético; geotêxtil; dano mecânico; resíduo de construção e demolição reciclado; estrutura de solo reforçado.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o consumo de recursos naturais e o seu desperdício são alarmantes e causadores de grandes problemas ambientais. Dentre os seus

consumidores está a Indústria da Construção Civil (ICC), que é apontada como responsável por 20% a 50% do consumo de recursos naturais do planeta (SANTOS, 2011). Além disso, a ICC é também reconhecida como a

grande geradora de resíduos nas grandes cidades, apresentando números que variam de 50 a 70% de toda a massa de resíduos sólidos urbanos (RSU) (PINTO, 1999).

Diante desse cenário, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou a resolução Nº 307/2002, onde estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Com isso, esperava-se observar um aumento do número de usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) e a consequente expansão na utilização dos resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R).

O RCD-R na construção civil é destinado principalmente para a utilização como agregado em obras de pavimentação e para a fabricação de concreto não estrutural. Recentemente, o estudo do uso de RCD-R em estruturas de solo reforçado (ESR) revelou excelentes propriedades geotécnicas desses materiais (SANTOS, 2011). No entanto, para o uso desses materiais em ESR, um ponto importante deve ser estudado: os danos mecânicos que os RCD-R podem causar aos elementos de reforço, uma vez que tais elementos estarão sujeitos aos esforços de instalação e de serviço.

2 USO DE RCD-R EM ESTRUTURAS DE SOLO REFORÇADO

O emprego dos geossintéticos como elemento de reforço em ESR busca o aumento da resistência do maciço reforçado de forma prática e rápida, uma vez que a aplicação desses elementos se dá de forma muito simples. A interação entre os geossintéticos e o RCD-R em estruturas de solo reforçado foi estudada experimentalmente por Santos (2007, 2011) e mostrou-se bastante viável.

Um aspecto importante apontado nos estudos de Santos (2007, 2011) consiste nas investigações que devem ser feitas sobre os possíveis danos mecânicos que podem ser causados nos geossintéticos devido à utilização de RCD-R como material de aterro, uma vez que a granulometria desse material pode variar de forma bastante significativa.

Diante disso, este estudo buscou avaliar os possíveis fatores causadores e características

desses danos, e, com isso, estabelecer eventuais precauções e considerações a serem tomadas em projetos de ESR com RCD-R.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 RCD-R

As amostras de RCD-R utilizadas neste estudo foram coletadas em uma usina de reciclagem de RCD localizada em Camaragibe-PE. Foram realizadas 5 (cinco) coletas de amostras, em intervalos de tempo de 15 (quinze) dias, com o intuito de verificar a existência de eventuais variabilidades dos parâmetros de interesse para o estudo. O RCD-R coletado para a pesquisa é classificado como ‘brita 19’ pela usina recicladora, e trata-se de um material bastante empregado para a execução de base e sub-base de estradas. A Tabela 1 apresenta o plano de coleta realizado no estudo.

Tabela 1. Coleta de RCD-R na usina de reciclagem.

Amostra	Data da coleta	Massa (kg)
1	06/11/2014	82,13
2	20/11/2014	72,20
3	04/12/2014	75,58
4	12/12/2014	79,26
5	18/12/2014	85,08
Média	-	78,85

Tendo em vista a grande heterogeneidade do RCD-R ao longo da altura da pilha de estocagem, as coletas foram realizadas com o cuidado de tentar representar ao máximo o RCD-R produzido pela usina. Dessa forma, as coletas foram feitas diretamente na saída da esteira do britador da usina (FIGURA 1).



Figura 1. Coleta do RCD-R.

3.2 Geossintético

Neste estudo, foram empregados geotêxteis tecidos confeccionados com diversos tipos de polímeros – polipropileno (PP) e poliéster (PET) com poliamida (PA) –, os quais possuem dentre as suas funções a de reforço de solos (FIGURA 2). A Tabela 2 apresenta as principais características dos geotêxteis empregados no estudo.



Figura 2. Geotêxteis empregados no estudo.

Tabela 2. Características dos geotêxteis.

Característica	Geotêxtil (PET e PA)	Geotêxtil (PP)
Polímero	Poliéster e Poliamida	Polipropileno
Massa por unidade de área (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

3.3 Caracterização do RCD-R

Como o presente trabalho trata-se de uma proposta de aplicação de RCD-R em uma obra geotécnica, as amostras foram submetidas aos ensaios de caracterização de solos:

- NBR 6457 (1986). 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.

3.4 Ensaio de danos mecânicos em geossintéticos

Com o objetivo de analisar os danos mecânicos em geotêxtil tecido causados por RCD-R, foram aplicadas tensões normais em laboratório – com prensa hidráulica – com o intuito de simular as tensões decorrentes da execução do aterro.

Para a realização desse ensaio, fez-se necessária a confecção de uma caixa rígida de aço (FIGURA 3). A caixa em suas dimensões totais possui 440 mm de comprimento, 300 mm de largura e 150 mm de altura, sendo bipartida em sua altura média, facilitando assim a colocação do geotêxtil em seu interior.



(a)



(b)

Figura 3. Caixa de aço utilizada no ensaio de dano mecânico. Onde: (a) caixa montada; e (b) caixa desmontada.

Para a compactação do RCD-R na caixa foi utilizado o grau de compactação de 95% do valor médio de massa específica seca máxima e umidade ótima média obtidos no ensaio de compactação. Os cenários de danos avaliados são apresentados na Tabela 3. Em cada cenário, foram empregadas 05 (cinco) amostras de cada tipo de geotêxtil, totalizando 30 (trinta) amostras ensaiadas.

Tabela 3. Cenários de danos investigados.

Ensaio	Tensão aplicada (kPa)	Cenário
C0	NA	Amostra virgem
C1	300	Amostra danificada
C2	600	Amostra danificada

Onde: NA = não se aplica.

As amostras foram danificadas seguindo os seguintes procedimentos:

- colocação do RCD-R na parte inferior da caixa;
- compactação estática do RCD-R com o auxílio da prensa hidráulica;
- instalação da amostra de geotêxtil sobre a camada inferior de RCD-R;

- fixação da parte superior da caixa (FIGURA 4A);
- colocação de RCD-R na parte superior da caixa;
- compactação do RCD-R com o auxílio da prensa hidráulica e manutenção da tensão normal de ensaio por 5 minutos (FIGURA 4B).

Durante a realização da exumação dos corpos-de-prova, foram tomados todos os cuidados para evitar que danos mecânicos adicionais fossem causados. Após isso, as amostras exumadas foram identificadas e acondicionadas.



(a)



(b)

Figura 4. Processo de compactação do RCD-R.

Para a realização dos ensaios de tração isolada, as amostras de geotêxtil foram enviadas para ensaio no Laboratório de Geossintéticos, da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). Os ensaios foram realizados seguindo as orientações na norma ASTM D-4595-94.

Para a obtenção dos danos nas amostras foram calculados os fatores de redução de resistência a partir dos resultados das amostras danificadas, tomando como referência a resistência à tração das amostras virgens.

4 RESULTADOS

4.1 Análise granulométrica do RCD-R

A análise das curvas granulométricas do RCD-R revelou a existência de variabilidade entre as amostras coletadas (FIGURA 5). Essa variabilidade pode ser explicada pelo fato da

usina de beneficiamento, durante o período de realização das coletas, estar produzindo um agregado sem o processo de separação prévia dos materiais constituintes (concreto, cerâmica, solo, etc.). A partir dos valores médios das curvas analisadas é possível classificar o RCD-R como um pedregulho arenoso (TABELA 4).

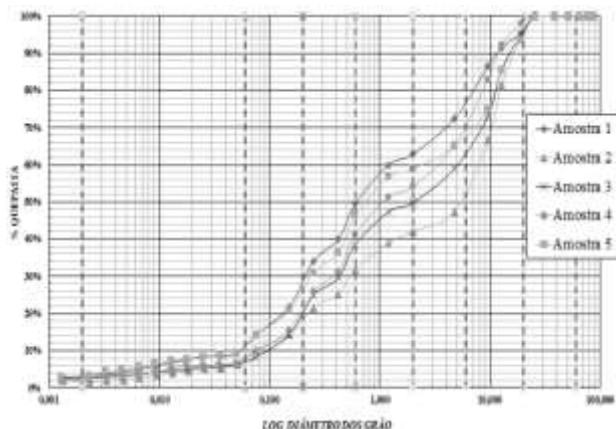


Figura 5. Curvas granulométricas das amostras de RCD-R.

Tabela 4. Frações de solo presentes no RCD-R.

Fração constituinte	Valor médio (%)
Pedregulho grosso	4,06
Pedregulho médio	30,22
Pedregulho fino	12,14
Areia grossa	11,94
Areia média	19,21
Areia fina	14,57
Silte	1,54
Argila	6,32

4.2 Limites de consistência do RCD-R

Por meio dos ensaios de determinação dos limites de consistência, observou-se que o RCD-R apresenta comportamento não líquido e não plástico.

4.3 Densidade real dos grãos do RCD-R (passantes na peneira 4,8 mm)

Observou-se que o RCD-R apresentou valor médio de densidade real dos grãos (passantes na peneira 4,8 mm) igual a 2,672 g/cm³, com o coeficiente de variação de 2,1%. Os resultados dos ensaios de densidade real dos grãos (passantes na peneira 4,8 mm) são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultado dos ensaios de densidade real dos grãos (passantes na peneira 4,8 mm) de RCD-R.

Amostra	Densidade real a 20°C (g/m ³)
1	2,657
2	2,601
3	2,652
4	2,758
5	2,693
Média	2,672
Coef. de variação	2,1%

4.4 Compactação

Os resultados dos ensaios de compactação revelaram valores médios de massa específica seca máxima (ρ_d) e umidade ótima (w) iguais a 1,84 g/cm³ e 13,73%, respectivamente. Observou-se coeficientes de variação para os valores de ρ_d e w iguais a 2% e 6%, respectivamente. A Figura 6 e a Tabela 6 apresentam os resultados dos ensaios de compactação.

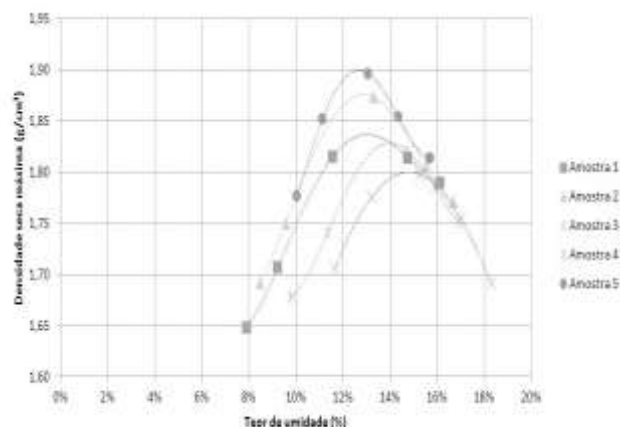


Figura 6. Curvas resultantes dos ensaios de compactação.

Tabela 6. Resultados dos ensaios de compactação do RCD-R.

Amostra	Umidade ótima (%)	Densidade seca máxima (g/cm ³)
1	13,56	1,831
2	13,21	1,862

3	14,78	1,799
4	14,48	1,815
5	12,62	1,891
Média	13,73	1,840
Coef. de variação	6,0%	2,00%

4.5 Danos aos geossintéticos

4.5.1 Danos mecânicos do geotêxtil tecido de polipropileno (PP)

A análise dos valores médios obtidos para cada cenário revelou valores de perda de resistência de 9,69 % e 14,33% para as amostras de geotêxtil de PP. O fato da maior perda de resistência ter sido observada para o menor valor de tensão normal revelou que a granulometria e a disposição das partículas de RCD-R podem ser fatores determinantes na análise de danos de instalação. Os resultados do ensaio de tração isolada do geotêxtil de PP são apresentados na Figura 7. A Tabela 7 mostra as resistências à tração médias observadas nos diferentes cenários.

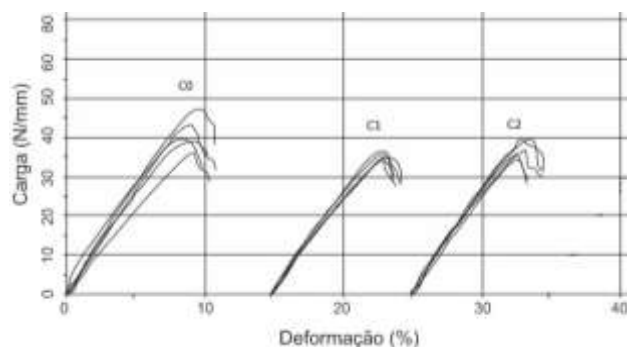


Figura 7. Curvas dos ensaios de tração isolada do geotêxtil de PP.

Tabela 7. Valores médios dos ensaios de tração isolada realizados com o geotêxtil de polipropileno.

Cenário	C0	C1	C2
Resist. à tração (N/mm)	41,79	35,80	37,74
Perda de resistência (%)	N.A.	14,33	9,69
Fator de Redução	N.A.	1,15	1,10

Onde: NA = não se aplica.

4.5.2 Danos mecânicos do geotêxtil tecido de poliéster (PET) e poliamida (PA)

Os valores médios de resistência à tração isolada das amostras danificadas do geotêxtil de PET e PA revelaram valores de perda de resistência de 30,26% e 41,50%. O incremento de tensão normal revelou o aumento dos níveis de danos no geotêxtil. Os resultados dos ensaios de tração isolada do geotêxtil de PET e PA estão apresentados na Figura 8. A Tabela 8 mostra as resistências à tração médias obtidas nos diferentes cenários.

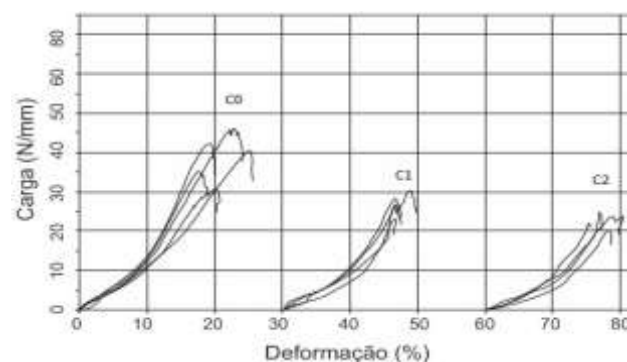


Figura 8. Curvas dos ensaios de tração isolada do geotêxtil de PET e PA.

Tabela 8. : Valores médios dos ensaios de tração isolada realizados com o geotêxtil de PET e PA.

Cenário	C0	C1	C2
Resist. à tração (N/mm)	39,78	27,74	23,27
Perda de resistência (%)	N.A.	30,26	41,50
Fator de Redução	N.A.	1,30	1,41

Onde: NA = não se aplica.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que, apesar de observada uma variabilidade entre as curvas de análise granulométrica das amostras de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R), verificou-se baixa variabilidade nas suas demais propriedades geotécnicas. A variabilidade verificada na granulometria pode ter sido um resultado da falta de padronização no beneficiamento do resíduo. Esse fator pode ser determinante em obras que necessitem de

materiais com uma específica composição das frações de solo presentes.

Os resultados dos ensaios de tração isolada, realizados nos geossintéticos, revelaram a grande influência que o processo de instalação pode ter na vida útil desses materiais. Observou-se que, além da tensão aplicada sobre as amostras, a própria disposição dos grãos de pedregulho presentes nos materiais de aterro pode influenciar de forma significativa nos danos mecânicos causados ao geotêxtil, e, consequentemente, na sua resistência à tração.

Os danos mecânicos causados às amostras de geotêxtil tecido evidenciaram a importância de atentar para a realização de ensaios prévios a fim de obter fatores de redução de resistência que possam ser incorporados na elaboração de projetos que contemplem o uso de novos materiais de aterro.

Conclui-se que o RCD-R apresentou propriedades geotécnicas que viabilizam o seu uso em diversos tipos de obras geotécnicas, inclusive nas que empregam geossintéticos, uma vez que os fatores de redução obtidos poderiam ser considerados na fase de projeto.

REFERÊNCIAS

- ASTM D 4595-94: *Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-width Strip Method*. 10p. West Conshohocken, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT NBR 12553: *Geotêxteis – Terminologia*. 2p. Rio de Janeiro, 1991.
- 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.
- 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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT NBR 7181: *Solo – Análise Granulométrica*. 13p. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT NBR 7182: *Solo – Ensaio de compactação*. 10p. Rio de Janeiro, 1986.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resolução nº 307*. Brasília, 2002.
- PINTO, T. P. (1999) *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*, Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 189 p.
- SANTOS, E.C.G. (2007). *Aplicação de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) em Estruturas de Solo Reforçado*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 168p.
- 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, Publicação G.TD-069/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 214 p.