

Redução de Resistência de Geossintéticos de Polipropileno (PP) Devido a Danos de Instalação Causados por Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R)

F.A.S. Barbosa,
Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, Brasil, felipebarbosa_@hotmail.com;

E.M. Silva,
Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, Brasil, edivan70@hotmail.com;

E.C.G. Santos,
Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, Brasil, edersantos@poli.br;

RESUMO: Dentre os principais setores econômicos brasileiros, a indústria da construção civil (ICC), antes vista como uma vilã em relação ao meio ambiente, hoje vem gradativamente adotando práticas cada vez mais ambientalmente sustentáveis em seus processos construtivos. Exemplos desta transformação podem ser observados em diversos tipos de obras - muitas delas com o uso de geossintéticos. No caso de estruturas de contenção com geossintéticos, surge uma interessante perspectiva da utilização de resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R) como material de aterro. No entanto, para assegurar a utilização dos RCD-R em estruturas de solo reforçado (ESR) com geossintético, faz-se necessário um estudo prévio dos eventuais danos de instalação que os RCD-R podem causar nos elementos de reforço. Diante disso, este estudo realizou ensaios de campo com o intuito de reproduzir os danos sofridos por geossintéticos durante os processos de lançamento e de compactação dos RCD-R, com a variação da altura de lançamento do resíduo. Para o estudo, foram empregadas uma geogrelha e um geotextil, ambos de Polipropileno (PP). Dentre os resultados obtidos, observou-se que houve uma baixa variabilidade dos parâmetros geotécnicos dos RCD-R investigados, devido ao excelente processo de reciclagem do RCD-R. Verificou-se que o RCD-R possui granulométrica com predominância de areia e pedregulhos, e comportamento que viabiliza a sua utilização em ESR. A análise dos danos de instalação, realizada por meio de uma análise estatística dos fatores de redução de resistência (FRR), revelou que as amostras de geogrelhas apresentaram menores danos de instalação se comparado com as de geotêxtil. Conclui-se que o uso de resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R) em estruturas de solo reforçado (ESR) trata-se de uma alternativa viável, uma vez que os danos de instalação podem ser considerados aceitáveis, e podem ser incorporados na fase de projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo de construção e demolição reciclado, geossintético, estrutura de solo reforçado, danos de instalação, fatores de redução de resistência.

1 INTRODUÇÃO

Com o advento da tecnologia, durante a Revolução Industrial, as indústrias sofreram um aumento expressivo de suas atividades econômicas e, crescendo na mesma proporção, da quantidade de resíduos gerados por elas.

Nesse cenário, surgiu, então, a necessidade de estabelecer novos modelos de desenvolvimento que propiciem a sustentabilidade.

Neste contexto, a Indústria da Construção Civil (ICC) destaca-se pela elevada geração de resíduos. Segundo o Abrelpe (2014), de 51% à 70% do Resíduo Sólido Urbano (RSU) das

cidades brasileiras é composto de Resíduo de Construção e Demolição (RCD). Diante desse problema, o conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), publicou em 2002, a resolução Nº 307, que obrigam os grandes geradores dos resíduos e as prefeituras a tomarem medidas na redução e reciclagem do RCD gerado.

Dentre as propostas estabelecidas pelo CONAMA 307, a reciclagem do RCD e sua utilização tem ganhado destaque, uma vez que segundo Gusmão (2008) cerca de 91% desse resíduo tem potencial reciclável sob a forma de agregado. Dentre as alternativas mais viáveis, destacam-se as propostas de utilização de 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, ainda é necessário investigar os eventuais danos que o RCD-R pode causar durante o processo de instalação nos geossintéticos.

2 RCD NO BRASIL

No Brasil, apesar da publicação da Resolução Nº 307 do CONAMA e de várias normas técnicas da ABNT, nota-se que a indústria de reciclagem de RCD ainda se apresenta de forma bastante tímida, se comparado com os EUA e países Europeus.

Em Recife-PE (cidade onde foi realizado o estudo), observa-se que a reciclagem desses materiais ainda é bastante limitada. Isso pode ser comprovado pelo fato de existir, na época da pesquisa, apenas uma empresa especializada na

reciclagem desses resíduos na região.

3 ESTRUTURAS DE SOLO REFORÇADO (ESR)

O processo de reforço de solo consiste, basicamente, em introduzir no maciço de solo elementos que possuam elevada resistência à tração. Com os avanços apresentados pela Indústria Polimérica, os polímeros tornaram-se a matéria-prima para a fabricação de elementos de reforço de solo, os chamados *geossintéticos*.

As vantagens técnicas da utilização dos geossintéticos, associadas ao emprego de ESR, são muitas, podendo-se citar como exemplo: é um método de construção rápido e simples; não exige mão-de-obra especializada e equipamentos pesados; entre outras. Tais vantagens fazem com que os geossintéticos seja uma alternativa cada vez mais usada na atualidade. (Barbosa & Santos, 2013).

3.1 Utilização de RCD-R em ESR

Estudos realizados por Santos (2007) avaliou o potencial de uso de RCD-R em estruturas de solo reforçado com geossintéticos. Os resultados 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.

3.2 Danos mecânicos nos geossintéticos provocados pelo RCD-R

Segundo Santos (2011), dentre as principais propriedades de interesse para um elemento de reforço, a resistência à tração destaca-se por ser um dos principais condicionantes para a

segurança da estrutura. Nesse contexto, deve-se considerar os eventuais danos que possam afetar a resistência dos elementos de reforços e, conseqüentemente, na segurança e vida útil da obra.

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.

Para compensar tais danos, adotam-se os chamados fatores de redução de resistência (FRR). Tais FRR são considerados na fase de projeto, fornecendo assim uma maior segurança e vida útil a obra.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 RCD-R

O RCD-R utilizado nesta pesquisa foi coletado em uma usina de reciclagem localizada em Camaragibe-PE, região metropolitana de Recife. O material coletado é nomeado pela própria usina de reciclagem como “refugo”, sendo este material vendido como material de aterro.

As amostras foram coletadas em dois lotes: O primeiro lote foi coletado entre Janeiro a Março de 2012 (figura 1); e o Segundo lote foi coletado entre Novembro a Dezembro de 2013. Totalizando assim 10 amostras (5 em cada lote), L1 (lote 1) e L2 (lote 2). Tal material foi ensaiado em laboratório seguindo as diretrizes das Normas Técnicas Brasileiras vigentes na época.



Figura 1. Coleta do primeiro lote do RCD-R.

4.2 Geossintético

Foram usados nesta pesquisa dois tipos de geossintéticos diferentes. Uma geogrelha e um geotêxtil, ambos de mesmo polímero base, o polipropileno (PP), e do mesmo fabricante (tabela 1).

Tal análise teve como objetivo analisar e comparar os danos entre diferentes geossintéticos, porém de mesmo polímero base.

Tabela 1. Geossintéticos usados.

Característica	Geogrelha	Geotêxtil
Referência segundo o fabricante	Fornit 20 (15/24-15 T)	Hate 45 (45/45)
Gramatura (g/m ²)	200	250

4.3 Reprodução dos danos mecânicos em campo

Após a caracterização do RCD-R, foi verificado que o material em estudo apresentou predominância de solo arenoso e pedregulhos. Essa constatação levou a escolha da realização de ensaios em campo, analisando exclusivamente os danos provocados durante a instalação do geossintético, devido à variação de altura de lançamento do RCD-R.

Para a realização dos ensaios no campo, foram adotados 3 cenários com diferentes de altura de lançamento do RCD-R. (tabela 2). 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 2. Cenários para o ensaio em campo.

Cenário	Altura de queda (m)
01	0,00
02	1,00
03	2,00

Após a execução da camada de base (de 0,10 m de espessura) de RCD-R, as amostras de geossintético, foram colocadas, 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 2 e 3).



Figura 2. Cenário de lançamento com altura de 2 metros.



Figura 3. Cenário de lançamento com altura de 1 metro.

Antes da compactação da camada final, o RCD-R era 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.

4.4 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 (FRR). Este método consiste em comparar os resultados de resistência à tração de amostras virgens com os resultados obtidos de amostras danificadas.

As amostras de geogrelhas foram ensaiadas no Laboratório de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), e os geotêxteis no Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília (UnB). Para realização dos ensaios de tração não confinada, foi consultada a NBR 12824/93 – norma vigente na época dos ensaios (Figura 4).



Figura 4. Ensaio de tração no geossintético (UnB).

5 RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 Caracterização geotécnica do RCD-R

As curvas de distribuição granulométrica do RCD-R ficaram bastante próximas, em ambos os lotes L1 e L2 (figuras 5 e 6, respectivamente), o que pode ser explicado pelo fato de que a fábrica de reciclagem emprega um procedimento padrão no processo de reciclagem. Observou-se que as amostras apresentaram um elevado teor de areia e pedregulhos e um baixo teor de solo fino (silte e argila). Este resultado mostrou-se excelente, tendo em vista que o material analisado é normalmente empregado como material de aterro.

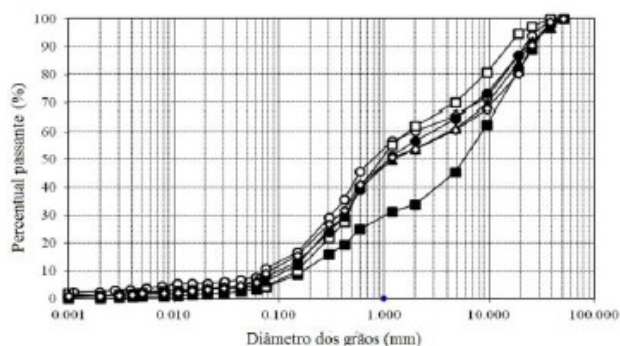


Figura 5. Curva granulométrica lote L1.

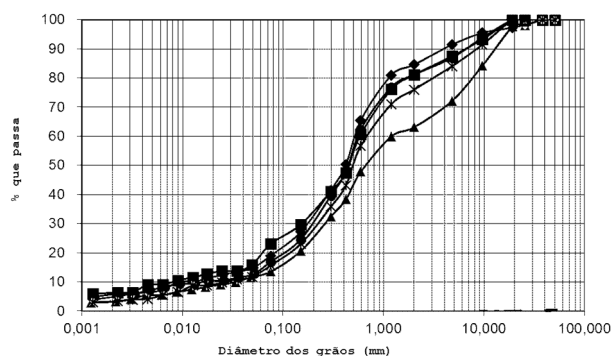
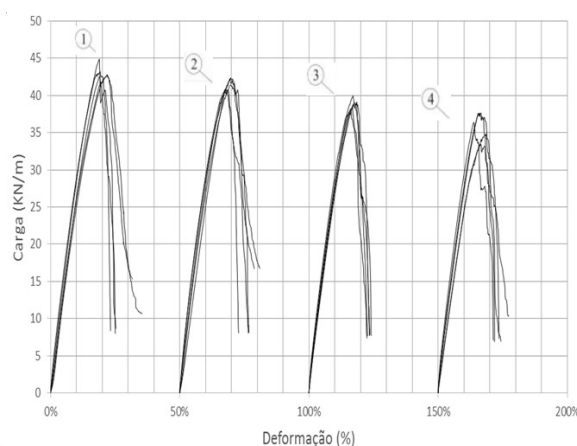


Figura 6. Curva granulométrica lote L2.

5.2 Degradação do geotêxtil

Os resultados dos ensaios de tração realizados em amostras de geotêxtil estão presentes na figura 7. Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados para os espécimes geotêxtil virgens e as danificadas, respectivamente.

Figura 7. Curva carga versus deformação do geotêxtil (ensaios em faixa larga). Onde: 1- Amostra virgem; 2-



Amostra 0m; 3- Amostra 1m; 4- Amostra 2m.

Tabela 3. Resistência à tração das amostras de geotêxtil 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%
Intervalo para o nível de confiança de 98%	41,57 – 44,84

Tabela 4. Resistência à tração das amostras de geotêxtil danificadas.

Cenário (m)	Força média (kN/m)	Fator de Redução
0	41,51	1,04
1	38,96	1,11
2	35,97	1,20

Observou-se que o geotêxtil sofre danos mecânicos, em todos os cenários testados. No entanto, a amostra que tinha a altura de lançamento igual a 0m (sem cair), apresentaram pouca variação de resistência. No entanto, as amostras que foram submetidas a uma altura de lançamento de 2m mostrou uma queda significativa da resistência, com o fator de redução de resistência atingindo 1,20.

5.3 Degradação da geogrelha

Os resultados de ensaios de tração realizados nas amostras de geogrelha são apresentados na Tabela 5 e 6, onde são apresentado os resultados de amostras geogrelha virgens e danificadas, respectivamente.

Tabela 5. Resistência à tração das amostras de Geogrelha virgens.

Amostra	Força (kN/m)
1	3,53
2	3,40
3	3,50
4	3,67
5	3,30
Média	3,56
Intervalo para o nível de confiança de 98%	3,42 – 3,63

Tabela 6. Resistência à tração das amostras de Geogrelha danificadas.

Cenário (m)	Força média (kN/m)	Fator de Redução
0	3,36	1,04
1	3,46	1,03
2	3,38	1,05

Embora a resistência encontrada nas amostras virgens era inferior a resistência do Fabricante, observou-se que a geogrelha quando submetida aos ensaios de danos mecânicos, mostrou baixa

variação da resistência em todos os cenários. O maior fator de redução de resistência encontrado foi de 1,05.

6 CONCLUSÕES

Como resultados da investigação de fatores de redução de resistência do geotêxtil e geogrelha devido aos danos causados pelo RCD-R, pode-se concluir que:

- O RCD-R apresentaram baixa variação na caracterização geotécnica. Isso indica uma padronização no processo de melhoria realizadas pela usina de reciclagem;
- O RCD-R mostrou excelentes propriedades para a sua aplicação em aterros, com alto teor de areia e pedras e baixa em solos finos (argila e silte), o comportamento não de plástico;
- As amostras de geotêxteis mostrou um factor de redução do estresse de até 1,20 em relação às amostras virgens;
- As amostras geogrelha mostrou um factor de redução do estresse de até 1,05 em relação às amostras virgens;
- A geotêxtil era mais sensível a danos causados pelo RCD-R, devido à sua maior superfície de interação com o resíduo;
- Os fatores de redução de resistência encontradas neste estudo não inviabilizam a aplicação de geotêxteis com RCD-R, embora os danos de instalação devem ser considerados em projeto e deve-se tomar cuidados durante a instalação dos elementos de reforço.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, pela bolsa de iniciação científica concedida pelo PIBIC - POLI (2012-2013) e (2013-2014). Os autores aproveitar a oportunidade para agradecer também o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Geotécnica da UnB

(PPG- UNB) , o Laboratório de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC / USP) , o Ciclo Ambiental Ltda e HUESKER Geossintéticos pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014*. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>.
- Barbosa, F.A.S. & Santos, E.C.G. (2013). *Geogrid mechanical damages due to recycled construction and demolition wastes*. Department of Civil Engineering, Polytechnic School of the University of Pernambuco, Brazil. 2013. 8p.
- BS – British Standard (1995). BS 8006: *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*.
- Conselho nacional do meio ambiente (CONAMA). *Resolução nº 307*. Brasília, 2002.
- Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-NHI-00-043, 394p.
- Gusmão, A.D. (2008). *Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil*. Gráfica Editora, Camaragibe, PE, 140p.
- Santos, E.C.G. (2007). *Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de dolo reforçado*. Dissertação de mestrando, 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, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 214 p.
- Sieria, 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.