

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



Danos de Instalação em Geogrelhas Causados por Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R)

Mateus P. Fleury

Doutorando, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil, mateusfleury@usp.br

Eder C. G. Santos

Professor Adjunto, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Brasil, edersantos@ufg.br

Jefferson Lins da Silva

Professor Associado, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil, jefferson@sc.usp.br

RESUMO: O uso de resíduos de construção e demolição e reciclados (RCD-R) em estrutura de solo reforçado com geossintéticos tem se mostrado uma opção atrativa nos aspectos técnicos e ambientais. No entanto, tendo em vista que os danos de instalação podem ser responsáveis por alterações significativas no comportamento tensão-deformação dos geossintéticos, os danos causados pelos RCD-R devem ser avaliados e quantificados. Nesse sentido, este estudo objetiva avaliar os danos causados pela compactação de um tipo de RCD-R durante a simulação de construção de uma camada de solo reforçado com geogrelha. Para tanto, realizou-se a compactação de camadas de RCD-R (200 mm de espessura) com métodos distintos (rolo vibratório e equipamento à percussão ‘tipo sapo’) sobre três tipos de geogrelhas. As geogrelhas foram exumadas e ensaiadas para a determinação dos valores de resistência à tração última e, em seguida, foram calculados os fatores de redução por meio de duas abordagens distintas. Os resultados mostraram que reduções significativas de resistência à tração última das geogrelhas para ambos os equipamentos adotados. Recomenda-se a adoção de ferramentas estatísticas para cálculo dos fatores de redução, pois essas permitem avaliar a variabilidade das resistências das amostras virgens, diferentemente do método tradicional de cálculo.

PALAVRAS-CHAVE: Redução de resistência, Ensaio de campo, Compactação, Distribuição t-Student, Reciclagem, Geossintéticos.

ABSTRACT: The use of recycled construction and demolition wastes (RCDW) in geosynthetics reinforced soil structures seem to be an attractive solution in technical and environmental aspects. However, since installation damage is responsible for significant changes in the geosynthetics' stress-strain behaviour, the damage caused by RCDW must be assessed and quantified. In this way, this study aims to assess the installation damage caused by the compaction of one type of RCDW layers (200 mm thick) which have been compacted with a vibratory roller or a vibratory hammer to three different types of geogrids. After the geogrids exhumation, they were tested to assess the values of ultimate tensile strength after the installation damages procedures and reduction factors were calculated using two different approaches. The results have shown significant reductions in ultimate tensile strength of the geogrids for both type of equipment adopted. It is recommended the adoption of some statistical tool for the calculation of the reduction factors since it enables designers consider the variability of the virgin samples ultimate tensile strength, unlike the traditional method of calculation.

KEYWORDS: Strength reduction, Field test, Compaction, t-Student Distribution, Recycling, Geosynthetics.

1 Introdução

Os impactos causados pelos resíduos da indústria da construção civil demonstram a necessidade da adoção de diferentes ações em relação a esses materiais. Dentre elas, o beneficiamento por meio da reciclagem pode tornar os resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) materiais competitivos em termos técnicos e econômicos em relação aos agregados naturais. Nesse sentido, estudos recentes têm comprovado o



potencial do RCD-R como material de preenchimento alternativo de estruturas de solo reforçado (ESR) com geossintéticos (Santos 2007; Santos e Villar 2008; Santos et al. 2014; Arulrajah et al. 2014; Vieira e Pereira 2016; Vieira et al. 2016; Soleimanbeigi et al. 2019), tendo em vista que ele atende aos requisitos técnicos e ambientais exigidos pela engenharia moderna (Correia et al. 2016; Damians et al. 2017, 2018).

A durabilidade dos materiais de reforço é uma das principais preocupações relacionadas ao projeto de estruturas de solo reforçado (ESR) com geossintéticos. O dano de instalação é considerado um mecanismo crítico que afeta a durabilidade desses materiais (Huffenus et al. 2005) pois pode acarretar em redução de resistência à tração última (T_{ult}), deformação na ruptura (ϵ_f) e rigidez do secante material (J_{sec}), ou seja, compromete o comportamento dessas estruturas. Sendo assim, esse dano tem sido investigado nas últimas décadas (Koerner e Koerner 1990) por meio de ensaios em escala real e também em laboratório (método de ensaio ENV ISO 10722; BSI 2007).

De forma a viabilizar a utilização conjunta de RCD-R e geogrelha em ESR, os danos de instalação causados pelo RCD-R devem ser avaliados e quantificados para fornecer parâmetros adequados de projeto. Nesse sentido, este estudo tem por objetivo avaliar os danos mecânicos em geogrelhas causados pelo processo de compactação de RCD-R. Em acréscimo, dois métodos distintos de cálculo dos fatores de redução (FR) são analisados utilizando os resultados reportados neste estudo e os de outros trabalhos publicados anteriormente.

2 Materiais e métodos

2.1 Materiais

O resíduo de construção de demolição reciclado (RCD-R) utilizado neste estudo foi fornecido por uma usina de reciclagem, localizada em Aparecida de Goiânia-GO, que realiza a britagem dos resíduos de construção e demolição (RCD) por meio de um único processo – com um britador de mandíbula – e fez parte do estudo realizado por Fleury (2018). O material é proveniente da mistura (com pá carregadeira) de quatro materiais distintos produzidos pela usina: rachão (diâmetro dos grãos, $d > 19$ mm), brita 1 ($19 \text{ mm} \geq d \geq 9.5$ mm), brita 0 ($9.5 \text{ mm} \geq d > 4.8$ mm) e areia ($d \leq 4.8$ mm). Para este estudo, foram empregadas 05 (cinco) amostras desse RCD-R, as quais foram coletadas em intervalos de 21 dias para caracterização geotécnica do material.

O geossintético empregado consistiu de três geogrelhas, comumente utilizadas em estruturas de solo reforçado (ESR) no Brasil, cujas especificações técnicas (fornecidas pelo fabricante) estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações técnicas das geogrelhas (Fonte: Fabricante).

| Características do produto | GG-PVA-35 | GG-PET-35 | GG-PET-55 |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Polímero constituinte | PVA ^(a) | PET ^(b) | PET ^(b) |
| T_{ult} ^(c) (kN/m) | 35 | 35 | 55 |

Notas: ^(a) álcool polivinílico; ^(b) poliéster; ^(c) resistência à tração última.

2.1 Métodos

Os ensaios realizados na caracterização do RCD-R envolveram: i) massa específica das partículas passante na peneira de 4,8 mm; ii) limites de consistência; iii) granulometria conjunta (sem defloculante); iv) compactação (Proctor Normal); e v) composição gravimétrica. Com exceção do último ensaio mencionado, os demais foram realizados com base na Norma Brasileira (NBR) vigente, preconizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O ensaio de composição seguiu os procedimentos descritos por Santos (2007).

Para reproduzir os danos da compactação do RCD-R, uma instalação experimental foi construída (Fleury 2018) para simular os processos construtivos de camadas de estrutura de solo reforçado (ESR). Sobre a camada de regularização (em concreto reforçado), uma camada de 100 mm de espessura foi compactada com rolo vibratório (RV; comprimento de 900 mm e peso operacional de 1400 kg); sobre essa camada, malhas de geogrelha (3,90 x 1,20 m, nas direções transversal e longitudinal, respectivamente) foram dispostas. Em



seguida, uma nova camada de 200 mm de espessura foi compactada acima das geogrelhas, simulando o que seria realizado na construção de uma ESR. Investigou-se os efeitos de processos de compactação distintos: i) equipamento à percussão tipo sapo (EP; placa com 320 x 280 mm e peso operacional de 94kg) e rolo vibratório (RV). Após a compactação e a aferição do peso específico in situ, de acordo com a NBR 7185 (ABNT (2016a), a camada superior de RCD-R (200 mm de espessura) foi removida manualmente para realizar a exumação das malhas de geogrelhas. No total, 05 (cinco) corpos de prova (0,20 m x 1,20 m, nas direções transversal e longitudinal, respectivamente) por cenário avaliado foram ensaiadas. As amostras de geogrelha foram encaminhadas ao Laboratório de Geossintéticos da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), para a realização de ensaios de tração em faixa larga, segundo a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) D 6637-01.

Os danos sofridos pelas geogrelhas foram quantificados por meio de fatores de redução (FR), referentes à resistência à tração máxima (T_{ult}), calculados por meio de duas abordagens distintas. No primeiro caso, o fator de redução (FR_I) foi calculado pela razão entre a média de resistência à tração última das amostras virgens (T_{ult_v}) e a média de resistência à tração última das amostras danificadas (T_{ult_d}), segundo a Equação 1.

$$FR_I = \frac{T_{ult_v}}{T_{ult_d}} \quad (1)$$

Para a determinação do segundo fator de redução (FR_{II}), seguiu-se a análise realizada por Santos (2011), com a adoção de uma distribuição estatística para representar a variabilidade da resistência à tração última das amostras virgens. A distribuição t-Student foi escolhida, tendo em vista que sua aplicação é recomendada para os casos em que a média populacional é desconhecida e o número de amostras é inferior a trinta. Com base nos cinco valores de resistência à tração última (T_{ult}) obtidos nos ensaios de tração das amostras virgens, determinou-se o nível de confiança (NC) responsável por fornecer um intervalo de confiança que contivesse todos os valores de T_{ult} dessas amostras. Com nível de confiança atribuído e o número de amostras ensaiadas, determinou-se o valor da variável aleatória de Student (t) e calculou-se os limites máximo e mínimo do intervalo de confiança por meio da Equação 2. Dessa forma, esse intervalo de confiança representa a faixa de valores de T_{ult} que estão associados às amostras virgens. Sendo assim, caso a média de resistência à tração última das amostras danificadas (T_{ult_d}) estivesse dentro do intervalo de confiança, o fator de redução seria considerado igual a um valor unitário ($FR = 1,00$), pois há dúvida à cerca da real ocorrência do dano. Nos casos em que os valores de T_{ult_d} estivessem fora do intervalo das amostras virgens, o fator de redução seria calculado de acordo com a Equação 2.

$$T_{ult_v} \pm t \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

onde: T_{ult_v} é a média de resistência à tração última das amostras intactas/virgens; t , a variável aleatória de Student; σ , o desvio padrão em torno da média; e n é o número de amostras ensaiadas.

Para avaliar o efeito desse segundo método de cálculo do fator de redução, as duas abordagens de cálculo do fator de redução foram adotadas com base nos resultados de resistência à tração isolada apresentados por Huffenus et al. (2005), Santos et al. (2010), Lim e McCartney (2013) e Pinho-Lopes e Lopes (2014) totalizando 14 geogrelhas e 16 cenários de danos distintos. As características das geogrelhas avaliadas pelos autores supracitados estão apresentadas na Tabela 2.

3 Resultados e discussões

3.1 Resíduo de construção e demolição reciclados (RCD-R)

Os resultados dos ensaios revelaram que o RCD-R utilizado é composto principalmente por materiais nobres e inertes, com a predominância de partículas passantes na peneira de 4,8mm (consideradas como “solo”), seguido de concreto e argamassa (Tabela 3). O material não apresentou comportamento plástico (Tabela 3) e



Tabela 2. Informações dos trabalhos consultados.

| Referência | Geogrelha | T_{ult_v} (kN/m) | Coefficiente de Variação (%) |
|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Huffenus et al. (2005) | PET revestida | 38,3 | 2,61 |
| | PET revestida | 71,7 | 0,42 |
| | PVA revestida | 51,1 | 3,91 |
| Santos et al. (2010) | PET revestido | 22,7 | 5,73 |
| Lim e McCartney (2013) | PET revestido com PVC ^(a) | 83,5 | 0,72 |
| | PET revestido com PVC ^(a) | 104,3 | 2,49 |
| | PET revestido com PVC ^(a) | 118,6 | 1,26 |
| | PET revestido com PVC ^(a) | 166,5 | 1,92 |
| | PET revestido com PVC ^(a) | 74,1 | 1,35 |
| | PET revestido com PVC ^(a) | 98,9 | 0,81 |
| | PET revestido com PVC ^(a) | 119,2 | 2,43 |
| | PET revestido com PVC ^(a) | 170,2 | 2,41 |
| Pinho-Lopes e Lopes (2014) | PET revestida | 66,9 | 1,20 |
| | PET revestida | 70,8 | 4,38 |

Notas: ^(a) policloreto de vinil.

Tabela 3. Características e propriedades geotécnicas do RCD-R obtidas em laboratório.

| Característica | Método de ensaio | Valor Médio | Coefficiente de Variação (%) |
|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------------|
| G_s ^(a) | NBR 6458 (ABNT 2016b) | 2,688 | 0,00 |
| Índice de Plasticidade | NBR 6459 (ABNT 2016c) | Não Plástico | N.A ^(b) |
| | NBR 7180 (ABNT 2016d) | | |
| SUCS ^(c) | ASTM D 2487-06 | SP-SM ^(d) | N.A ^(b) |
| $\gamma_{d_máx}$ ^(e) | NBR 7182 (ABNT 2016e) | 18,23 kN/m ² | 2,63 |
| w_{ot} ^(f) | NBR 7182 (ABNT 2016e) | 14,74% | 9,09 |
| Composição | Santos (2007) | - | - |
| | Solo | - | 51,47% |
| | Concreto | - | 30,58% |
| | Argamassa | - | 12,97% |
| | Cerâmica | - | 2,72% |
| | Rocha alterada | - | 1,15% |
| | Cerâmica polida | - | 0,48% |
| | Outros | - | 0,63% |

Notas: ^(a) Densidade relativa; ^(b) Não se aplica; ^(c) Sistema Unificado de Classificação de Solos; ^(d) Areia mal graduada com silte; ^(e) Peso específico seco máximo; ^(f) Umidade ótima.

sua faixa granulométrica atende as gradações internacionais preconizadas para aplicação em ESR com geossintéticos. A curva granulométrica média, obtida por meio das cinco determinações, é classificada como areia mal graduada com silte (SP-SM) segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solo (SUCS; ASTM D 2487-06). Os valores de densidade relativa (G_s), peso específico seco máximo ($\gamma_{d_máx}$) e umidade ótima (w_{ot}), apresentados na Tabela 3, estão de acordo com resultados reportados pela literatura nacional e internacional.

A camada compactada de 200 mm acima da geogrelha apresentou peso específico seco (γ_d) igual a 16,22 kN/m³ quando compactado com o rolo vibratório (RV) e 16,59 kN/m³ quando compactado com o equipamento à percussão (EP), resultando em valores de grau de compactação iguais a 89 e 91%, respectivamente. O emprego de rolo vibratório na compactação da camada repercutiu em graus de compactação in situ superiores aos observados por Santos et al. (2010, 2013, 20014) na construção de duas estruturas de solo reforçado com RCD-R.

3.2 Geogrelhas

A geogrelha de álcool polivinílico (GG-PVA-35) apresentou $T_{ult,v}$ igual a 25,90 kN/m² (coeficiente de variação, CV = 2,90%) com intervalo de confiança de 27,0 – 24,8 kN/m. No caso da geogrelha de poliéster de menor resistência à tração (GG-PET-35), o valor de $T_{ult,v}$ foi de 31,95 kN/m² (CV = 1,53%) e intervalo de confiança de 32,61 – 31,29 kN/m. Por fim, a geogrelha GG-PET-55 apresentou valor de $T_{ult,v}$ igual a 49,93 kN/m (CV = 3,06%) e intervalo de confiança de 52,49 – 47,37 kN/m. Os níveis de confiança e os valores da variável aleatória de Student estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores de nível de confiança e variável aleatória de Student obtido nos ensaios de tração em amostras virgens.

| | GG-PVA-35 | GG-PET-35 | GG-PET-55 |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| Nível de Confiança | 97% | 96% | 98% |
| t | 3,298 | 2,999 | 3,747 |

Após a reprodução dos danos de instalação, todas as geogrelhas apresentaram redução nos valores de T_{ult} . Após a compactação com rolo vibratório (RV), a maior redução de resistência foi evidenciada na GG-PET-35 (17,18%), seguida das geogrelhas GG-PET-55 (9,87%) e GG-PVA-35 (1,43%). Já no caso da compactação com o equipamento à percussão (EP), as reduções foram de 18,11% (GG-PVA-35), 17,65% (GG-PET-35) e 1,20% (GG-PET-55). Notou-se que, para ambos os equipamentos de compactação adotados, a geogrelha GG-PET-35 apresentou reduções semelhantes de T_{ult} . Já a geogrelha GG-PVA-35 apresentou pequena redução quando compactada com o RV em relação ao EP. A geogrelha GG-PET-55 apresentou comportamento oposto os observados nas demais, com uma maior redução de resistência quando a compactação ocorreu com rolo vibratório (RV).

Os resultados dos ensaios de tração realizados nas amostras virgens (VIR) e danificadas (RV e EP) estão apresentados na Figura 1, onde as colunas verticais, as barras de erro e as linhas horizontais representam os valores médios, as variações máxima e mínima em torno da média e os intervalos de confiança de cada geogrelha, nesta ordem. Notou-se que, nos cenários GG-PET-35-RV e GG-PET-55-EP, a medida da resistência à tração última ficou dentro do intervalo de confiança das amostras virgens o que resulta, segundo o método de cálculo proposto, em um fator de redução igual a unidade ($RF = 1,00$). Para os demais cenários, os fatores de redução calculados por ambas as abordagens adotadas neste estudo revelaram o mesmo valor, ou seja, $FR_I = FR_{II}$, como pode-se observar na Tabela 5 com o resumo os valores dos fatores de redução obtidos.

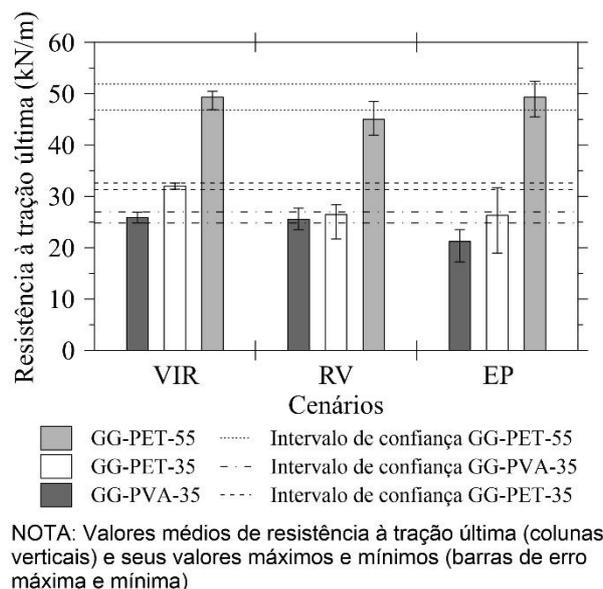


Figura 1. Resistência à tração das geogrelhas – efeito do método de compactação.



Tabela 5. Valores dos fatores de redução calculados segundo as abordagens adotadas neste estudo.

| Método de Cálculo | Rolo vibratório (RV) | | | Equipamento à percussão (tipo sapo; EP) | | |
|-------------------|----------------------|-----------|-----------|---|-----------|-----------|
| | GG-PVA-35 | GG-PET-35 | GG-PET-55 | GG-PVA-35 | GG-PET-35 | GG-PET-55 |
| FR_I | 1,01 | 1,12 | 1,06 | 1,06 | 1,11 | 1,01 |
| FR_{II} | 1,00 | 1,12 | 1,06 | 1,06 | 1,11 | 1,00 |

A análise das geogrelhas ensaiadas revelou uma divergência entre os valores de FR_I e FR_{II} muito pequena. A maior diferença encontrada se deu quando o valor médio da resistência à tração das amostras danificadas esteve dentro do intervalo de confiança, porém próximo às extremidades desse intervalo. Nesse caso, FR_{II} será igual a 1,00 e o FR_I apresentara um valor diferente de 1,00. Aplicando o mesmo procedimento nos dados obtidos na literatura (Tabela 2), notou-se que, dos 136 casos de danos analisados, apenas 17 apresentaram diferença entre FR_I e FR_{II} . As divergência nos valores de FR_I e FR_{II} só foram evidenciadas quando o CV da T_{ult_v} mostrou-se superior a 1.93% e quando o valor de T_{ult_d} indicaram maior redução igual a 2.81% em relação ao valor de T_{ult_v} , resultando em um fator de redução igual a $FR_I = 1,03$.

Apesar da pequena diferença entre as abordagens de cálculo de fatores de redução avaliada neste estudo, baseando-se nos 30 corpos de prova analisados, observou-se que, para os casos em que a resistência à tração última de uma geogrelha apresentou uma variabilidade considerável, a adoção da segunda abordagem de cálculo mostra-se importante por chamar a atenção de tal característica. Nos casos em que o cálculo é realizado da maneira tradicional, fatores de redução devido aos danos de instalação podem ser atribuídos erroneamente, tendo em vista que, de fato, deve-se levar em consideração a variabilidade das características mecânicas da geogrelha.

4 Conclusão

Neste estudo, os processos construtivos de uma camada de solo reforçado de 200 mm de espessura composta por um resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R) foram simulados utilizando dois métodos de compactação distintos: rolo vibratório e equipamento à percussão (tipo sapo). Os danos gerados às geogrelhas oriundos desse processo foram quantificados por meio de fatores de redução, os quais foram calculados por meio de duas abordagens distintas. Mediante aos resultados obtidos, conclui-se:

- Observou-se que a redução de resistência é influenciada pelo tipo de equipamento de compactação, polímero constituinte e resistência da geogrelha, conforme já reportado na literatura;
- Os fatores de redução calculados por meio de uma abordagem estatística que considera a variabilidade de resistência à tração última das amostras virgens apresentou, na maioria dos casos, valores iguais aos fatores de redução calculados pelo método tradicional;
- Embora os resultados deste estudo tenham demonstrado valores próximos de fatores de redução de resistência, chama-se a atenção para aqueles casos em que a resistência à tração última das amostras virgens possam apresentar uma variabilidade significativa. Nesses casos, a adoção de ferramentas estatísticas para cálculo dos fatores de redução pode se apresentar mais adequado que o método tradicional de cálculo, uma vez que chama a atenção para a variabilidade das propriedades de interesse.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (EECA-UFG) e à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP), por todo o suporte técnico e material ao longo da pesquisa; aos órgãos de fomento CAPES e CNPq, pelas bolsas concedidas durante do mestrado e doutorado do primeiro autor; às empresas RENOVE Gestão em Resíduos (RNV), Huesker, MOLD Estruturas Pré-fabricadas, SETE Engenharia, Terra e Entulho, Terra Móvel, Global Locações e RESIFORT's pela parceria marcada pelo suporte fornecido para a realização das atividades de pesquisa reportadas neste estudo.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials – ASTM (2001) D 6637-01. *Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA
- American Society for Testing and Materials – ASTM (2006) D 2487-06. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Arulrajah, A., Rahman, M. A., Piratheepan, J., Bo, M. W., Imteaz, M. A. (2014) Evaluation of interface shear strength properties of geogrid-reinforced construction and demolition materials using a modified large scale direct shear testing apparatus. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26, No. 5, 974–982.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2016a) NBR 7185. *Solo: Determinação da massa específica aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2016b) NBR 6458 Versão corrigida 2:2017. *Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2016c) NBR 6459. *Solo: determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2016d) NBR 7180. *Solo: determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2016e) NBR 7182. *Solo: ensaio de compactação*. Rio de Janeiro.
- British Standard Institute – BSI (2007) EN ISO 10722:2007. *Geosynthetics, index test procedure for the evaluation of mechanical damage under repeated loading – damage caused by granular material*. BSI, London, UK.
- Correia, A. G., Winter, M. G., Puppala, A. J. (2016) A review of sustainable in transport infrastructure geotechnics. *Transportation Geotechnics*, 7, p. 21–28.
- Damians, I. P., Bathurst, R. J., Adroguer, E. A., Josa, A., Lloret, A. (2017) Environmental assessment of earth retaining wall structures. *Environmental Geotechnics*, 4 (6), p. 415–431.
- Damians, I. P., Bathurst, R. J., Adroguer, E. A., Josa, A., Lloret, A. (2018) Sustainability assessment of earth-retaining wall structures. *Environmental Geotechnics*, 5 (4), p. 187–203.
- Fleury, M. P. (2018) *Resistência de geogrelhas após danos mecânicos causados por resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R)*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 160 p.
- Hufenus, R., Rüegger, R., Flum, D., Sterba, I. (2005) Strength reduction factors due to installation damage of reinforcing geosynthetics. *Geotextiles and Geomembranes*, 23 (5), p. 401–424.
- Koerner, G. R. & Koerner, R. M. (1990) The installation survivability of geotextiles and geogrids. In: 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranes, and Related Products, Den Hoedt G., Editors, Taylor & Francis Group, The Hague, South Holland, the Netherlands, p. 597–602.
- Lim, S. Y., McCartney, J. S. (2013) Evaluation of effect of backfill particle size on installation damage reduction factors for geogrids. *Geosynthetics International*, 20 (2), p. 62–72.
- Pinho-Lopes, M. & Lopes, M. L. (2014) Tensile properties of geosynthetics after installation damage. *Environmental Geotechnics*, 1 (3), p. 161–178.



- Santos, E. C. G. & Vilar, O. M. (2008) Use of recycled construction and demolition wastes (RCDW) as backfill of reinforced soil structures. Proceedings of the 4th European Conference on Geosynthetics – EUROGEO 4, Edinburgh, UK, IGS-UK Chapter, London, UK, paper 199.
- Santos, E. C. G. (2007) *Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado*. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos / USP, 169 p.
- Santos, E. C. G., Palmeira, E. M. & Bathurst, R. (2010) Construction of a full-scale wrapped face geogrid reinforced wall using recycled construction and demolition waste as backfill material. Proceedings of the 9th International Conference on Geosynthetics, Palmeira, E. M., Vidal, D. M., Sayão, A. S. J. F. & Ehrlich, M., Editors, International geosynthetic Society – Brazil (IGS-Brazil), Guarujá, São Paulo, Brazil, pp. 1769–1772.
- Santos, E. C. G., Palmeira, E. M., Bathurst, R. (2013) Behaviour of a geogrid reinforced wall built with recycled construction and demolition waste backfill on a collapsible foundation. *Geotextiles and Geomembranes*, v. 39, p.9-19, ago.
- Santos, E. C. G., Palmeira, E. M., Bathurst, R. (2014) Performance of two geosynthetic reinforced walls with recycled construction waste backfill and constructed on collapsible ground. *Geosynthetics International*, 21 (4), p. 256–269.
- Soleimanbeigi, A., Tanyu, B. F., Aydilek, A. H., Florio, P., Abbaspour, A., Dayioglu, A. Y., Likos, W. J. (2019) Evaluation of recycled concrete aggregate as backfill for geosyntheticreinforced MSE walls. *Geosynthetics International*, 26(4), p. 396–412.
- Vieira, C. S., Pereira, P. M. (2016) Interface shear properties of geosynthetics and construction and demolition waste from large scale direct shear tests. *Geosynthetics International*, 23(1), p. 62–70.
- Vieira, C. S., Pereira, P. M., Lopes, M. L. (2016) Recycled construction and demolition wastes as filling material for geosynthetic reinforced structures. Interface properties. *Journal of Cleaner Production*, 124, p. 299–311.