

NOTA TÉCNICA

ANÁLISE DOS DANOS DE INSTALAÇÃO SOFRIDOS POR GEOGRELHAS E GEOTÊXTEIS NO USO DE REFORÇO ESTRUTURAL

Analysis of installation damage suffered by geogrids and geotextiles in the use of structural reinforcement

Carlos Ricardo Pereira dos SANTOS¹

Recebido em 03 de março de 2020; aceito em 07 de maio de 2020; disponível on-line em 05 de junho de 2020.



PALAVRAS CHAVE:

Geossintéticos;
Danos de instalação;
Danos mecânicos;
Reforço estrutural;
Geogrelhas e geotêxteis;

KEYWORDS:

Geosynthetics;
Installation damage;
Mechanical damage;
Structural reinforcement;
Geogrids and geotextiles.

RESUMO: O uso de geossintéticos é, relativamente, novo na engenharia, ganhando destaque apenas após o período de industrialização, onde houve o crescimento das indústrias petroquímicas. No Brasil, esse processo começou a ocorrer apenas após a Segunda Guerra Mundial, tendo a sua primeira grande obra localizada às margens da rodovia SP-123. Este trabalho tem como objetivos principais: (I) analisar, através de uma revisão bibliográfica, o comportamento de geogrelhas e geotêxteis quando utilizados como reforços de maciços terrosos, indicando a eficiência de cada material em diferentes tipos de solos e com diferentes granulometrias encontrados na natureza; (II) aumentar os conhecimentos sobre geossintéticos. A metodologia, por se tratar de um texto de revisão, concentrou-se em intensas e extensas pesquisas bibliográficas em revistas especializadas no assunto, como *Geosynthetics International* e *Geotextiles and Geomembranes* e livros sobre o tema, bem como a busca em bancos de dissertações e teses das universidades de São Paulo (USP), Rio de Janeiro (UFRJ) e Brasília (UnB). Os resultados mostram a resistência residual à tração das diferentes amostras de geossintéticos, sendo as geogrelhas mais resistentes aos danos mecânicos. Por ser um assunto pouco tratado nas graduações de engenharia, a principal contribuição deste texto para a área é levar conhecimento dos geossintéticos.

ABSTRACT: *The use of geosynthetics is relatively new in engineering, gaining prominence only after the period of industrialization, where the petrochemical industries grew. In Brazil, this process began only after World War II, and its first major work was located along the SP-123 highway. The main objectives of this paper are: (I) to analyze, through a bibliographical review, the geogrids and geotextiles when used as reinforcements of earth masses, indicating the efficiency of each material in different types of soils and with different granulometry found in nature; (II) increase knowledge about geosynthetics. The methodology, as a review text, focused on intense and extensive bibliographical research in journals specialized in the subject, such as *Geosynthetics International* and *Geotextiles and Geomembranes* and books on the subject, as well as the search in thesis and dissertation banks of the universities of São Paulo (USP), Rio de Janeiro (UFRJ) and Brasília (UnB). The results show the residual tensile strength of the different geosynthetic samples, with geogrids being more resistant to mechanical damages. The main contribution of this text to the area is to take knowledge of the geosynthetics.*

* Contato com os autores:

¹ e-mail: carlosricardo.ps7@gmail.com (C. R. P. Santos)

Bacharel em Engenharia Civil e Tecnólogo em Construção de Edifícios, Faculdades Metropolitanas Unidas.

1. INTRODUÇÃO

Geossintéticos, atual substituto das fibras, são definidos, de acordo com a IGS Brasil (Associação Brasileira de Geossintéticos), como “produtos industrializados com pelo menos um de seus componentes fabricados com polímero sintético ou natural”. Os geossintéticos existem nos formatos de tiras, mantas e estruturas tridimensionais, sendo passível de aplicação em diversas áreas da engenharia civil, geotécnica e ambiental.

Dependendo do tipo de geossintético e do polímero utilizado na fabricação, eles podem exercer funções de reforço, drenagem, separação, filtração, proteção e controle de erosão, sendo possíveis de utilizar em obras de corte e aterro, encontro de viadutos, reforços de pavimentos e outros, conforme Quadro 1 (Sieira, 2003).

A importância do estudo dos geossintéticos como inclusões no solo está relacionada ao aumento das características conferidas ao maciço

terroso e dos impactos econômicos gerados à construção. Entretanto, boa parte das obras de contenção realizadas no Brasil ainda utilizam métodos convencionais devido à ausência de conhecimentos profundos sobre o comportamento das inclusões, mais especificamente sobre o seu deslocamento (Benjamim, 2006).

O presente texto tem como objetivo uma revisão bibliográfica sobre geossintéticos e o seu comportamento ante os danos mecânicos, além de mostrar análises laboratoriais e em campo, no qual os mesmos passam para qualificar a sua resistência e qualidade de produto antes de ser utilizado no setor da construção. Como objetivos secundários o artigo pretende: (a) apresentar um estudo sobre o comportamento de geogrelhas e geotêxteis como reforço; (b) investigar a redução da resistência característica de geogrelhas e geotêxteis; (c) avaliar os danos durante a instalação e (d) comparar resultados entre amostras intactas e amostras danificadas em diferentes tipos de solo.

QUADRO 1: Tipos de geossintéticos e suas principais aplicações.

Tipo de geossintético	Aplicação						
	Separação	Reforço	Filtração	Drenagem	Proteção	Imper-meabilização	Controle de erosão
Geotêxtil	X	X	X	X	X		X
Geogrelha		X					
Geomembrana	X					X	
Geocomposto		X		X		X	
Geobarras		X					
Geoespaçadores				X			
Geotiras		X					
Georredes				X			
Geotubos				X			
Geomantas						X	X
Geocélulas		X					X

FONTE: SIEIRA (2003).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Durante o período destinado à construção, os geossintéticos podem sofrer alterações em suas propriedades devido aos ataques químicos, biológicos e aos danos mecânicos, comumente chamados de danos de instalação. Os danos mecânicos são essencialmente devidos à manipulação, aplicação e compactação dos reforços (Carlos, 2015).

Para Koerner (2005) a durabilidade do geossintético pode ser agrupada em fatores relacionados à sua resistência e degradação, sendo o primeiro foco deste trabalho.

Tem-se como definição de danos mecânicos a transformação do geossintético pelos esforços gerados durante seu manuseio, instalação e compactação do solo. Segundo Lopes (2004), os danos mecânicos encontrados nos geossintéticos são:

- Abrasão – o fenômeno ocorre quando o material polimérico entra em contato com outro de característica abrasiva, tornando-o desgastado. Esse tipo de danificação pode ser notado em qualquer tipo de geossintético sendo mais usual em geotêxteis não tecidos agulhados;
- Fendas e separação de material – é um dano mais decorrente nas geogrelhas extrudadas, onde ocorre o contato das partículas angulosas do solo com arestas cortantes do material de aterro com o geossintético, podendo aumentar a ocorrência de fendas e a separação do material pela circulação de equipamentos;
- Puncionamento – ocorre quando materiais de aterro com faces cortantes entram em contato com o geossintético ou quando ocorre a compactação de camadas finas de material de aterro com equipamento de compactação pesado;
- Ruptura em tensão – é ocasionada quando são exercidas, sobre os geossintéticos, cargas e deformações excessivas;
- Corte de fibras – ocorre devido ao contato dos geossintéticos com as arestas cortantes dos materiais granulares, sendo um dano mais comum em geotêxteis tecidos, geogrelhas e fitas de reforço;
- Rasgamento – ocorre pela concentração de tensões onde já existem perfurações e/ou cortes, esse processo pode ser caracterizado como a propagação de rasgos já existentes.

Segundo Allen e Bathurst (1994), os fatores do solo que influenciam os danos durante o processo de instalação são:

- Distribuição granulométrica do material de aterro;
- Angularidade das partículas do solo;
- Dureza das partículas do solo.

Outros fatores de instalação que não estão ligados diretamente ao solo ou ao reforço podem provocar danos nos geossintéticos. São eles:

- Modelo do equipamento utilizado para compactação;
- Espessura da camada de compactação;
- Altura de queda do material granular (solo).

Há, ainda, algumas características provindas dos geossintéticos que influenciam nos graus de intensidade dos danos de instalação que, conseqüentemente, geram danos mecânicos para estrutura. Geossintéticos com menor gramatura (massa por unidade de área) sofrem mais perda em sua resistência. No caso de geotêxteis tecidos, esses costumam apresentar mais resistência quando comparados aos não tecidos.

2.1 FORMAS DE MINIMIZAR OS DANOS DE INSTALAÇÃO

Está claro que técnicas deficientes utilizadas para instalação dos geossintéticos provocam uma redução no seu desempenho. Alguns procedimentos, relativamente simples, podem ser adotados para diminuir os danos

durante a instalação e assegurar uma melhor qualidade de trabalho do geossintético. É válido observar que os danos durante a instalação sempre existirão, cabendo a equipe de obra minimizá-los ao máximo.

Sabe-se que não deve existir tráfego diretamente sobre o geossintético, exceto quando se trata de geotêxteis de elevada resistência mecânica. Da mesma forma, máquinas e equipamentos de compactação não devem ser colocados sobre os geossintéticos antes da existência de uma camada mínima de material

granular a fim de proteger o reforço. A espessura da camada mínima para proteção é de 150 mm (LOPES, 2004).

Rosário (2008) complementa, em sua pesquisa, com algumas medidas a serem adotadas para minimizar os danos durante a instalação: a superfície deve ser plana e livre de objetos pontiagudos, como pedras; no desenrolar do geossintético, o operário deve evitar pisá-lo; a colocação do material de aterro deve ser cuidadosa e suave; execução de compactação com materiais adequados.

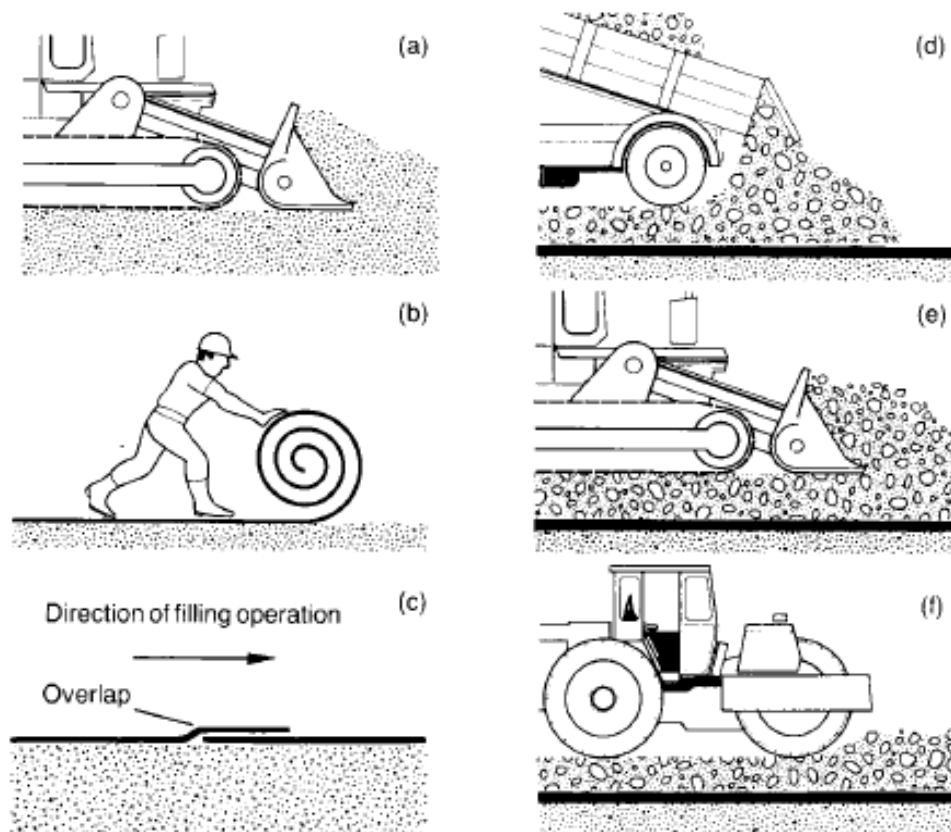


FIGURA 1: Sequência construtiva básica a adotar em construções com geossintéticos.

FONTE: INGOLD e MILLER (1988).

2.2 RESISTÊNCIA DOS GEOSSINTÉTICOS COMO REFORÇO

Em projetos de geossintéticos, a resistência característica do reforço sofre uma redução devido aos danos aplicados – a esses danos, somam-se ataques biológicos, químicos, físicos e mecânicos (Rosete, 2013).

Santos (2011) destaca que, para estruturas de solo reforçado com geossintéticos, a principal característica do reforço é a sua resistência admissível à tração. A tensão admissível é calculada através do fator de redução, conforme apresentado na Equação 1, que pode ou não estar relacionado ao material de reforço.

$$T_{adm} = \frac{T_{carac}}{f} \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo:

- T_{adm} – é a tensão admissível no reforço ao fim de sua vida útil kN/m²;
- T_{carac} – é a tensão característica do material kN/m²;
- f – fator de redução (adimensional).

Ainda segundo Santos (2011), é necessário avaliar todos os possíveis fatores que possam degradar os geossintéticos. Os principais fatores são:

- Fluência (f_{fl}) – deformação permanente do material quando submetido à carga constante;
- Incerteza do material (f_m) – eventuais erros que possam ocorrer durante processos de fabricação;
- Danos mecânicos (f_{dm}) – danos causados durante o processo de manuseio, instalação e compactação;
- Danos ambientais – danos provocados por ações químicas (f_q) e biológicas (f_b).

Azumbuja (1994) destaca a sinergia entre os fatores (f_s), considerando a possibilidade de um efeito interagir na magnitude do outro. O mesmo autor, ainda, comenta a importância de se fazer estudos sobre o fator sinérgico, pois a maioria das

pesquisas exploram as variáveis separadamente, descartando a influência que uma tem sobre a outra.

Assim, o fator de redução pode ser expresso pela composição de fatores secundários conforme Equação 2.

$$f = f_{fl} \cdot f_m \cdot f_{dm} \cdot f_q \cdot f_b \cdot f_s \quad \text{Eq. 2}$$

Sendo:

- f_{fl} – fator de fluência (adimensional);
- f_m – fator material (adimensional);
- f_{dm} – fator dano mecânico (adimensional);
- f_q – fatores químicos (adimensional);
- f_b – fatores biológicos (adimensional).

Bathurst (2011) recomenda que o fator dano mecânico seja determinado a partir de ensaios de danos de instalação em campo, nos quais os métodos de instalação do reforço e de compactação e o tipo de reforço sejam os mesmos do projeto. Caso não seja possível determinar tal fator experimentalmente, interpolações podem ser obtidas de medições existentes com diferentes solos para o mesmo geossintético.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS DANOS MECÂNICOS

A caracterização do dano mecânico em geossintéticos pode ser realizada, basicamente, em duas etapas: (i) danificação da amostra, que pode ser executada em laboratório ou em campo; (ii) ensaios laboratoriais para quantificar a resistência final após a danificação – os principais ensaios são de resistência à tração e punção.

Em laboratório, as amostras devem ser danificadas de acordo com a norma ISO 10722:2007 – *Geosynthetics – Index test procedure for the evaluation of mechanical damage under repeated loading – Damage caused by granular material*, que descreve a preparação das amostras e os procedimentos de ensaio.

Já os ensaios de danificação em aterros experimentais têm o objetivo de apresentar informações sobre os danos reais durante o processo de instalação dos geossintéticos,

obtendo resultados mais próximos à realidade. Durante todo o processo de instalação e posterior exumação das amostras, boas práticas construtivas devem ser adotadas para evitar quaisquer outros tipos de danos no geossintético – valendo-se das mesmas recomendações citadas no item 2.1.

Os posteriores ensaios para caracterização dos danos mecânicos, resistência à tração e punção, são regidos, respectivamente, pelas normas NBR ISSO 10319:2013 – Geossintéticos – Ensaios de tração faixa larga e ABNT NBR 12236:2013 – Geossintéticos – Ensaio de puncionamento estático (punção CBR).

3. METODOLOGIA

No que se refere ao tema Geossintéticos, o artigo tem por base textos acadêmicos, como artigos, dissertações, teses, livros e periódicos disponíveis tanto em meio físico como digital, através de uma extensa e intensa busca pelo assunto de danos de instalação, especificamente, em geogrelhas e geotêxteis.

Todas as pesquisas, condensadas neste artigo, foram concentradas em revistas especializadas e consagradas no tema de geossintéticos, como *Geosynthetics International* e *Geotextiles and Geomembranes*, além de estender as pesquisas aos bancos de dissertações e teses das universidades de São Paulo (USP e UFSCar), do Rio de Janeiro (UFRJ), de Brasília (UnB) e de Portugal (Universidade do Porto e Universidade de Aveiro).

As pesquisas foram feitas com o objetivo de ampliar os conhecimentos dos danos de instalações sofridos pelos geossintéticos. Para tanto, optou-se pela comparação dos resultados de dois pesquisadores que abordaram o comportamento de diferentes reforços – geogrelhas e geotêxteis em seus mais variados modos de confecção – em diferentes solos. Desta forma, será possível a comparação entre resultados a fim de um melhor entendimento do comportamento em longo prazo.

4. RESULTADOS

Neste momento do artigo serão utilizados os resultados de pertencentes aos ensaios de outros dois autores, Rosete (2013) e Carlos (2015), para efeito de comparação e análise dos danos de instalação. As pesquisas foram publicadas nos periódicos *Geosynthetic International* e *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, respectivamente.

Os trabalhos que serão abordados tratam do uso de dois tipos de geossintéticos, a geogrelha e o geotêxtil. A escolha desses dois tipos de reforços teve como princípio a importância que ambos têm no uso como reforço estrutural do maciço.

4.1 RESULTADOS DE PAULA (2004)

Paula (2004) danificou as amostras de geossintéticos como recomenda a norma ISO 10.722-1: *Geosynthetics – Index test procedure for the evaluation of mechanical damage under repeated loading – Damage caused by granular material*. O autor não realizou ensaios de danos mecânicos induzidos em campo.

4.1.1 Materiais utilizados

Os reforços utilizados foram:

- Geotêxtil tecido de polipropileno (GTt);
- Geogrelhas biaxial tecida de poliéster (GGbt);
- Geogrelhas biaxial extrudada de polietileno (GGbe).

Foram adotados três materiais granulares:

- Agregado 1 (A1): agregado sintético (óxido de alumínio) especificado pela norma ISO 10.722-1. O material deve apresentar resistência à abrasão *Los Angeles* não pode ser inferior a 1,9 e terá que passar 100% na peneira de 10 mm e 0% na peneira de 5 mm de abertura;
- Agregado 2 (A2): material granítico, diâmetro variando entre 4,75 a 12,5 mm;
- Agregado 3 (A3): material calcário, diâmetro variando entre 4,75 a 19 mm.

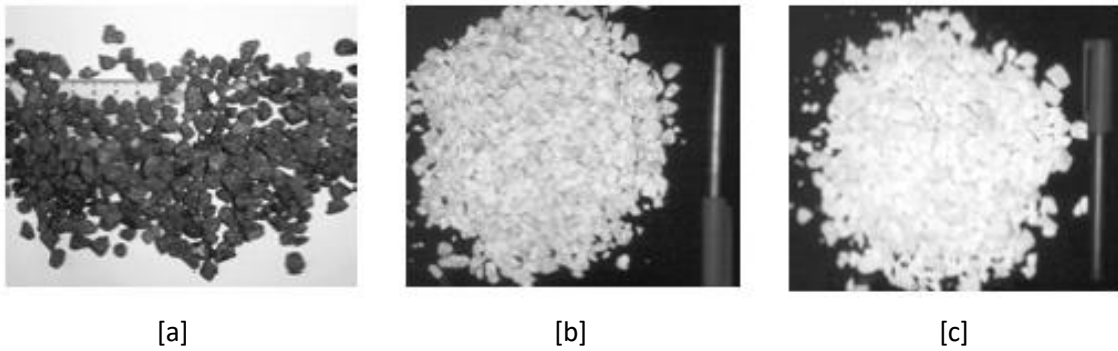


FIGURA 2: (a) agregado A1, sintético; (b) agregado A2, granítico; (c) agregado A3, calcário.

FONTE: PAULA, A. M.; PINHO-LOPES, M. e LOPES, M. L. (2004).

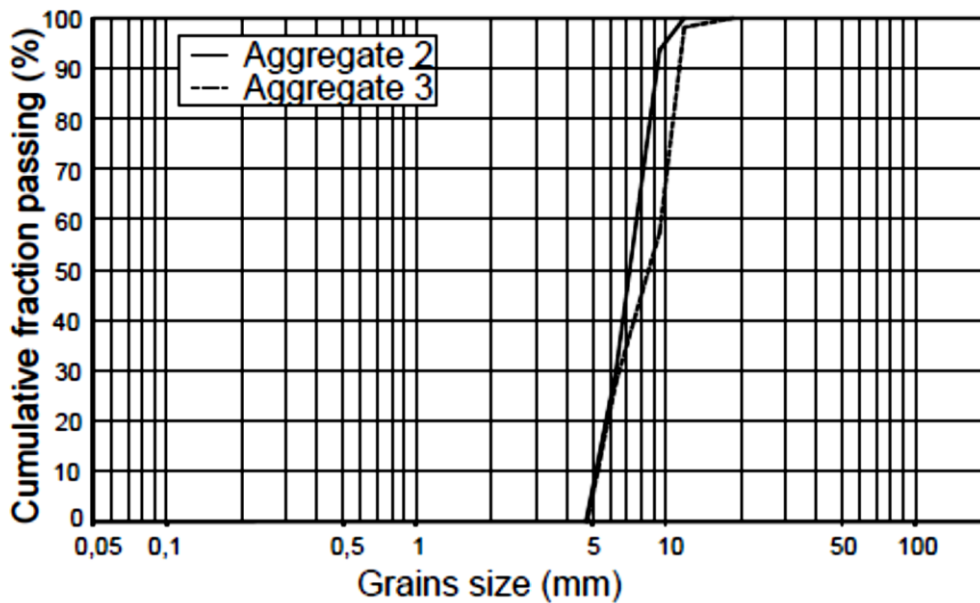


FIGURA 3: Distribuição granulométrica dos agregados A2 e A3.

FONTE: PAULA, A. M.; PINHO-LOPES, M. e LOPES, M. L. (2004).

4.1.2 Resultados

As amostras não danificadas também sofreram ensaios de tração a fim de criar parâmetros para posterior comparação. A Tabela 1 apresenta as resistências das amostras intactas e danificadas.

A partir dos dados da Tabela 1, pode ser calculada a resistência à tração residual da amostra (Tabela 2) depois dos ensaios de danificação como segue na Equação 3:

$$\sigma_{\text{Residual}} = \frac{\sigma_{\text{Danificada}}}{\sigma_{\text{Intacta}}} \times 100\% \quad \text{Eq. 3}$$

Sendo:

- σ_{Residual} – tensão que permanece na amostra depois de danificada (residual) – kN/m²;
- $\sigma_{\text{Danificada}}$ – tensão suportada pela amostra danificada kN/m²;
- σ_{Intacta} – tensão suportada pela amostra intacta kN/m².

TABELA 1: Resultados obtidos a partir dos ensaios de tração para amostras intactas e amostras danificadas – entre parênteses está o coeficiente de variação entre amostras.

Geossintético	Força máxima de tração (kN/m)			
	Amostra intacta	Danificada agregado A1	Danificada agregado A2	Danificada agregado A3
GTt	77,50 (1,58%)	33,45 (11,77%)	44,63 (4,20%)	51,88 (3,80%)
GGbt	66,05 (5,66%)	51,11 (12,19)	53,35 (7,40)	50,43 (2,70)
GGbE	46,99 (0,81%)	48,37 (1,32)	43,67 (2,90)	45,51 (2,00)

FONTE: PAULA, A. M.; PINHO-LOPES, M. e LOPES, M. L. (2004).

TABELA 2: Tração residual retida nas amostras.

Geossintético	Resistência à tração residual (kN/m)		
	Agregado A1	Agregado A2	Agregado A3
GTt	43,2	57,6	66,9
GGbt	77,4	88,7	98,8
GGbE	102,9	92,9	96,8

FONTE: PAULA, A. M.; PINHO-LOPES, M. e LOPES, M. L. (2004).

4.2 RESULTADOS DE CARLOS (2015)

Carlos et al. (2015) induziram danos mecânicos em dois tipos de geotêxteis, G250 não tecido e G400 tecido, na presença de diferentes tipos de solos a fim de analisar o comportamento das amostras em diferentes durezas e distribuição granulométrica.

4.2.1 Materiais utilizados

A Tabela 3 apresenta as principais

propriedades dos geossintéticos utilizados nos ensaios.

Além do solo sintético definido pela ISO 10.722-1, foram utilizados outros oito de granulometrias diferentes e amplamente encontrados na natureza, com grandes chances de serem utilizados em obras geotécnicas, como areia siltosa, areia, silte arenoso, *tout-venant* e cascalhos. A Figura 4 mostra a granulometria de cada tipo de solo utilizado.

TABELA 3: Propriedades dos geotêxteis utilizados nos ensaios – entre parênteses está o coeficiente de variação entre amostras.

Geotêxtil	G250	G400
Massa por unidade de área (g m^{-2})	262 (± 14)	412 (± 20)
Espessura (mm)	2,37 ($\pm 0,10$)	3,32 ($\pm 0,15$)
Resistência à tração (kN m^{-1})	16,00 ($\pm 1,20$)	25,56 ($\pm 0,97$)
Deformação no carregamento máximo (%)	70,4 ($\pm 2,5$)	70,9 ($\pm 4,6$)

FONTE: CARLOS, D. M. et al (2015).

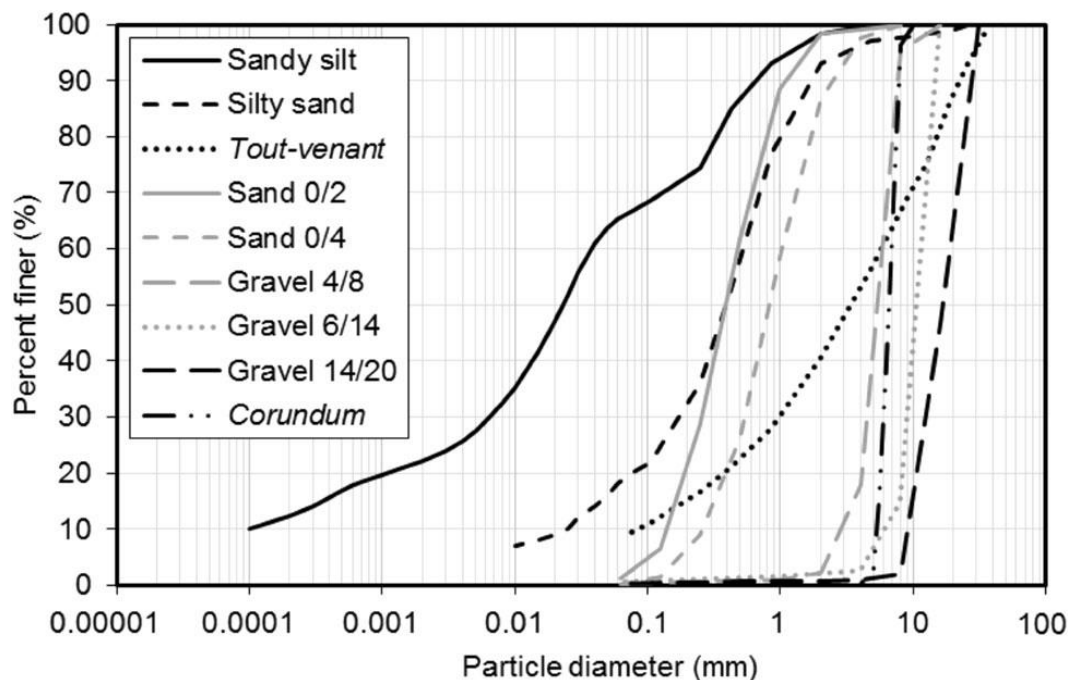


FIGURA 4: Distribuição granulométrica.

FONTE: CARLOS, D. M. et al (2015).

4.2.2 Resultados

Os resultados dos ensaios de tração em amostras danificadas nos oito tipos de solos mais o

solo sintético (*corundum*) estão apresentados na Tabela 4.

A comparação entre as resistências residuais à tração das amostras nos diferentes solos é dada pela Figura 5.

TABELA 4: Resultados de resistência à tração após danificação das amostras – entre parênteses está o coeficiente de variação entre amostras (Sandy silt – silte arenoso; silty sand – areia siltosa; sand – areia; gravel – cascalho).

Solo	G250		G400	
	Resistência residual à tração (kN m ⁻¹)	Deformação (%)	Resistência residual à tração (kN m ⁻¹)	Deformação (%)
Sandy silt	15,57 (±1,08)	59,3 (±5,2)	25,08 (±0,31)	61,1 (±4,7)
Silty sand	15,46 (±0,72)	60,8 (±5,8)	24,71 (±2,17)	55,4 (±3,8)
Sand 0/2	13,80 (±1,02)	54,7 (±3,5)	24,05 (±1,71)	56,6 (±4,0)
Sand 0/4	13,61 (±0,82)	58,5 (±6,2)	24,02 (±1,76)	52,7 (±5,2)
<i>Tout-Venant</i>	13,13 (±2,51)	55,0 (±7,0)	23,28 (±1,29)	55,4 (±5,7)
Gravel 4/8	12,39 (±0,78)	51,1 (±5,2)	22,31 (±1,38)	51,3 (±5,5)
Gravel 6/14	11,70 (±0,51)	50,4 (±3,2)	22,01 (±1,63)	53,9 (±3,6)
Gravel 14/20	10,68 (±1,46)	48,4 (±9,9)	21,35 (±1,12)	50,5 (±8,1)
<i>Corundum</i>	11,88 (±1,75)	48,7 (±5,8)	21,48 (±1,03)	53,9 (±6,2)

FONTE: CARLOS, D. M. et al (2015).

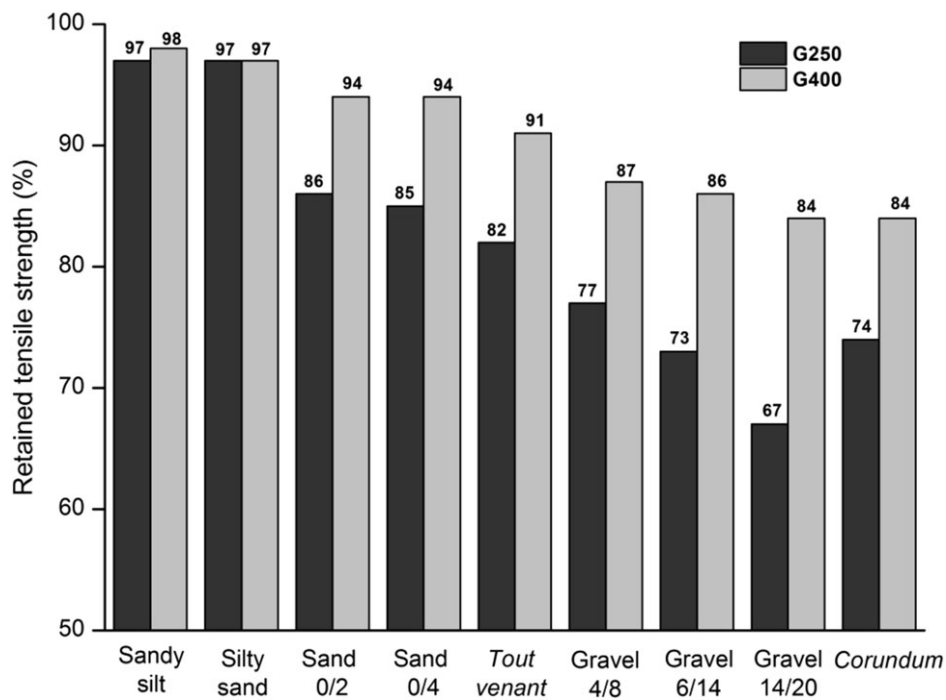


FIGURA 5: Comparação entre resistências residuais.

FONTE: CARLOS, D. M. et al (2015).

5. DISCUSSÕES

5.1 DISCUSSÕES SOBRE PAULA (2004)

Os ensaios de Paula (2004), comparando geotêxteis e geogrelhas, permitem identificar maiores danos induzidos aos geotêxteis, tendo um valor de resistência residual sempre abaixo de 70%, onde a maior resistência residual à tração corresponde ao agregado 3, calcário, e a menor ao agregado 1, solo sintético (*corundum*).

De uma forma geral, Paula (2004) concluiu que para os agregados naturais, o calcário induz menores danos quando comparado ao granítico – fato ligado à petrografia dos agregados e à dureza das rochas que os deram origem.

A geogrelha GGbe, apesar de apresentar a maior resistência entre os geossintéticos, nada pôde informar sobre seu comportamento ante o solo sintético, pois a amostra danificada apresentou uma resistência residual superior à amostra intacta. Uma possível explicação é a reorientação das fibras do reforço quando submetido aos testes laboratoriais.

5.1 DISCUSSÕES SOBRE CARLOS (2015)

Em relação aos geotêxteis ensaios por Carlos et al (2015), os resultados dos danos mecânicos demonstraram comportamento semelhantes nas amostras G250 e G400.

As reduções da força de tração dependem do solo utilizado nos ensaios de danos mecânicos. Os testes realizados com solos mais finos (silte arenoso e areia siltosa) não causaram modificações relevantes na resistência à tração – as resistências residuais, nestes solos, ficaram em torno de 97%. Entretanto a capacidade das amostras de se deformarem foi reduzida, fato que pode ser explicado por um pré-alongamento das amostras durante o carregamento nos ensaios de danificação.

Os testes de danos mecânicos com as areias, cascalhos, *tout-venant* e *corundum* indicam uma maior tendência de danos às estruturas, em especial as amostras não tecidas, como o G250, tornando a sua resistência residual à tração menor.

A redução na resistência à tração pode estar relacionada com alguns parâmetros de distribuição de tamanho de grão. Os solos com maior tamanho de grão tendem a causar maiores decréscimos na resistência à tração. A principal exceção foi observada para o *tout-venant*. Apesar apresentarem maiores partículas, o *tout-venant* não foi o solo que causou a maior redução na resistência à tração, o que pode ser devido a sua classificação como um solo bem graduado – porcentagem relativamente alta de partículas finas e baixas quantidades de grandes partículas.

De uma forma geral, pode-se concluir que os danos que ocorrem durante os testes mecânicos provavelmente são influenciados não apenas pelo tamanho do grão, mas também pela uniformidade do solo, já que solos bem graduados criam uma maior área de contato para transferência das tensões para os geossintéticos.

Apesar dos geossintéticos apresentarem um mesmo comportamento, o G400 evidenciou uma maior resistência quando comparado ao G250, mostrando que geossintéticos com maiores massa por unidade de área e espessura são mais resistentes contra os danos mecânicos.

Por último, o *corundum* (agregado sintético considerado na norma ISO 10.722-1) causou maior redução na resistência à tração dos geotêxteis do que a maioria dos demais solos utilizados nos ensaios de danos mecânicos. Isto indicou que o uso de agregado sintético pode ser uma abordagem conservadora para geotêxteis aplicados em solos finos, provocando um superdimensionamento do reforço.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, T. M. e BATHURST, R. J. **Characterization of geosynthetic load-strain behaviour after installation damage**. Geosynthetic International, vol. 1, n. 2, pp. 181-199. 1994.
- AZAMBUJA, E. **Investigação do dano mecânico em geotêxteis não tecidos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- BATHURST, R. J.; HUANG, B. e ALLEN, T. A. **Analysis of installation damage tests for LRFD calibration of reinforced soil structures**. Geotextiles and Geomembranes, vol. 29, n. 3, pp. 323–334. 2011.
- BENJAMIM, C. V. S. **Avaliação experimental de protótipo de estruturas de contenção em solo reforçado com geotêxtil**. 2006. 326 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- CARLOS, D. M.; CARNEIRO, J. R.; PINHO-LOPES, M. e LOPES, M. L. **Effect of soil grain size distribution on the mechanical damage of nonwoven geotextiles under repeated loading**. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, vol. 1, n. 1, pp. 1-7. 2015.
- INGOLD, T. S. e MILLER, K. S. **Geotextiles handbook**, 1st ed. London, Thomas Telford London, 1988.
- KOERNER, R. M. **Designing with geosynthetics**, 5th ed. New Jersey, Pearson Prentice-Hall, 2005.
- LOPES, M. J. F. P. **Estudo de coeficientes de segurança a aplicar a estruturas de controlo de erosão e de estabilização de maciços com geossintéticos**. 2004. 764 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2004.
- PAULA, A. M.; PINHO-LOPES, M. e LOPES, M. L. **Damage during installation laboratory test: influence of the type of granular material**. Proceedings of the 3rd European Geosynthetics Conference, Munich, Germany, pp. 603–606. 2004.
- ROSARIO, Cátia S. R. **Efeito da DDI na aplicação de geossintéticos em aterros de resíduos**. 2008. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008.
- ROSETE, A.; LOPES, P. M.; PINHO-LOPES, M. e LOPES, M. L. **Tensile and hydraulic properties of geosynthetics after mechanical damage and abrasion laboratory test**. Geosynthetic International, vol. 20, n. 5, pp. 358-374. 2013.
- SANTOS, E. C. G. **Avaliação experimental de muros reforçados executados com resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) e solo fino**. 2011. 214 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- SIEIRA, A. C. C. F. **Estudo experimental dos mecanismos de interação solo-geogrelha**. 2003. 360 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.