

Danos em geogrelhas devido às tensões de instalação em fresado RAP a partir de ensaios em campo

Fernando Affonso Névoa

Mestrando, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, Brasil, fernandonevoa@estudante.ufscar.br

Natália de Souza Correia

Professora, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, Brasil, ncorreia@ufscar.br

Fernando H. M. Portelinha

Professor, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, Brasil, fportelinha@ufscar.br

RESUMO: A utilização de agregados reciclados, como o asfalto fresado ou RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), pode trazer importante economia e redução de impactos ambientais na construção de estruturas mecânicamente estabilizadas, como muros de contenção, taludes e aterros. Tradicionalmente, essas estruturas são construídas utilizando materiais como pedras britadas, cascalho e solos granulares. No entanto, o consumo desses recursos naturais e as emissões de carbono decorrentes de sua extração e processamento contribuem para a degradação ambiental. Por outro lado, em estruturas reforçadas com geogrelhas, os danos devido à tensões de instalação podem ser responsáveis por alterações significativas no comportamento mecânico dos geossintéticos. Com o conhecimento de fatores de redução nas propriedades mecânicas das geogrelhas causados pelo RAP, estimula-se o dimensionamento de estruturas reforçadas com materiais alternativos. O presente estudo se concentra em investigações de campo baseadas na norma ASTM D5818-22 para compreender os danos mecânicos causados pela instalação de geogrelhas em agregados RAP. As investigações se concentraram na avaliação da resistência à tração de geogrelhas antes e após a ocorrência do dano durante a instalação (amostras exumadas). Os resultados indicaram uma variação no fator de redução devido ao dano de instalação devido ao agregado RAP, dependendo da geogrelha utilizada, entre 1,45 e 1,56.

PALAVRAS-CHAVE: Geogrelhas, Dano de Instalação, Fator de Redução da Resistência, RAP, Fresado.

ABSTRACT: The use of recycled aggregates, such as milled asphalt or RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), can bring significant cost savings and environmental impact reduction in the construction of mechanically stabilized structures, such as retaining walls, slopes, and embankments. Traditionally, these structures are built using materials such as crushed stones, gravel, and granular soils. However, the consumption of these natural resources and the carbon emissions resulting from their extraction and processing contribute to environmental degradation. On the other hand, in geogrid-reinforced structures, damages due to installation can lead to significant changes in the mechanical behavior of geosynthetics. With the knowledge of reduction factors in the mechanical properties of geogrids caused by RAP, the design of reinforced structures with alternative aggregate materials is encouraged. The present study focuses on field investigations based on ASTM D5818-22 to understand the mechanical damages caused by the installation of geogrids in RAP aggregates. The investigations focused on evaluating the tensile strength of geogrids before and after the occurrence of damage during installation (excavated samples). The results indicated a variation in the reduction factor due to installation damage caused by RAP aggregate, depending on the geogrid used, ranging between 1.45 and 1.56.

KEYWORDS: Geogrids, Installation Damage, Tensile Strength Reduction Factor, RAP, Milling.

1 INTRODUÇÃO

O uso crescente de materiais reciclados como fonte alternativa de agregados tem se tornado uma prática cada vez mais comum para promover abordagens sustentáveis na construção. A adoção desses materiais não apenas contribui para a redução do consumo de energia e recursos naturais, mas também resulta na diminuição das

emissões de gases de efeito estufa associadas à mineração, produção e transporte de agregados convencionais na construção (Yin et al., 2017; Zhu et al., 2022).

De acordo com Mascarenhas et al. (2023) o uso de material fresado (RAP) em misturas asfálticas é a prática internacional mais comum de reciclagem, apesar de ainda incipiente no Brasil. O asfalto fresado ou RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) é obtido pela fresagem de pavimentos asfálticos existentes, gerando um resíduo composto por partículas de tamanho agregado, que pode ser reutilizado em várias aplicações em obras de infraestrutura. Segundo dados da National Asphalt Pavement Association (NAPA), 94,6 milhões de toneladas foi a quantidade de asfalto fresado reciclado incorporado em novas misturas em 2021 — um aumento de 8,74% em relação ao ano anterior (NAPA, 2020). Na China, a produção anual de RAP chega a aproximadamente 790 milhões de toneladas (Liu et al., 2023). Conforme mencionado por Mariyappan et al. (2023), o uso mais comum do RAP ocorre como substituto de agregado virgem ou ligante de asfalto virgem em projetos de pavimentação asfáltica; no entanto, também pode ser utilizado como material granular de base ou sub-base, em aterros ou como material de aterro estrutural em aplicações geotécnicas (Rathje et al., 2006).

De acordo com Rathje et al. (2006), o uso de RAP em grande volume, como em aterros de muros de contenção, apresenta algumas vantagens devido à eliminação de procedimentos complicados de mistura. Os resultados demonstraram que o RAP compactado, reforçado com tiras de metal, pode atender aos critérios gerais para ser utilizado como material de aterro em muros de terra mecanicamente estabilizados. Estudos recentes na literatura têm abordado a análise do desempenho de geogrelhas em estruturas construídas com RAP, conforme apresentado por Soleimanbeigi et al. (2022). Entretanto, para as obras onde os geossintéticos são aplicados na função de reforço, é essencial o conhecimento de propriedades como resistência à tração ou rigidez após danos de instalação (Biazotto & Avesani, 2018).

Diversos estudos na literatura têm examinado os danos causados em geogrelhas durante a instalação por materiais de aterro naturais ou alternativos (Fleury et al., 2019; Koerner et al., 2023; Lim & McCartney, 2013; Paula et al., 2004). Entretanto, ainda há pouca compreensão sobre o impacto dos agregados RAP nas propriedades de resistência à tração das geogrelhas. Portanto, é essencial avaliar e quantificar os danos provocados pelos agregados de RAP em amostras de geogrelhas, a fim de estabelecer fatores de redução apropriados para serem aplicados em projetos de estruturas mecanicamente estabilizadas, estimulando o uso de materiais alternativos em obras geotécnicas.

De acordo com Biazotto e Avesani (2018), muitos fabricantes de geossintéticos expõem em seus catálogos um valor único para minoração da resistência à tração devido a danos de instalação, sendo que poucos apresentam fatores para tipos diferentes de solo e referências à energia de compactação empregada no processo. Para Koerner et al. (2023), no que diz respeito ao fator parcial de segurança para danos de instalação, apesar de ser bem conhecido como o reforço geossintético se comporta com solo e agregado convencionais, em algumas situações, tais como aterros agressivos e equipamentos pesados, a perda resultante de resistência pode ser significativa. Koerner et al. (2023) ainda menciona que a faixa do fator parcial de segurança para danos de instalação é geralmente de 1,1 a 1,6 para materiais geossintéticos convencionais instalados em brita AASHTO #57 (máximo tamanho de agregado igual a 38,1 mm), com equipamento de energia de compactação do solo moderada. Nesse contexto, este estudo apresenta investigações de campo, seguindo a norma ASTM D5818-22, com o objetivo de analisar os danos mecânicos devido à tensões de instalação em diferentes geogrelhas em camadas compactadas de agregados RAP, abordando as condições de instalação.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para o presente estudo, foram realizados ensaios de danos de instalação com agregado RAP em amostras de geogrelhas de poliéster expostas em campo, de acordo com a norma ASTM D5818 – *Standard Practice for Exposure and Retrieval of Samples to Evaluate Installation Damage of Geosynthetics*. Para avaliar os danos causados pelo processo de instalação das geogrelhas, foi realizada a construção de uma seção experimental de obra que, simulasse o procedimento de execução em campo, seguida pela exumação das geogrelhas para ensaios de resistência à tração em laboratório. A construção da seção experimental foi realizada em uma área cedida pela empresa Correia Terraplanagem, que disponibilizou os equipamentos necessários para movimentação e compactação dos materiais, estando localizada na cidade de Araraquara, São Paulo.

Nesta pesquisa, foram utilizadas geogrelhas tecidas fabricadas em poliéster, aqui designadas Geogrelha A e Geogrelha B, cujas propriedades principais são apresentadas na Tabela 1. Ensaios para a determinação das propriedades de tração de geogrelhas foram realizados conforme especificações da ASTM D6637 – método Método A, ensaio *single rib*. O ensaio de tração foi realizado em uma prensa universal (com taxa constante de extensão) e os corpos-de-prova de geogrelha foram ensaiados com garras do tipo rolete a uma distância inicial entre garras de 300 mm, apresentando mais de três junções e velocidade de deformação de 10% por minuto.

Tabela 1 - Propriedades principais das geogrelhas utilizadas nesta pesquisa.

Geogrelha	Abertura de malha (mm x mm)	Direção longitudinal				Direção transversal			
		Média (kN/m)	Desvio Padrão (kN/m)	Coef. Var.	Deformação na ruptura (%)	Média (kN/m)	Desvio Padrão (kN/m)	Coef. Var.	Deformação na ruptura (%)
A	25 x 25	59,0	2,23	3,77%	10,8 (±0,35)	32,87	0,99	3,0%	11,6 (±0,83)
B	55 ± 5	83,6	2,43	2,90%	10,6 (±0,57)	31,78	1,52	4,8%	11,1 (±0,60)

De acordo com as recomendações da ASTM D5818-22, as amostras de geogrelha devem ser instaladas sob uma camada mínima de 10 cm de agregado compactado, seguida de camada compactada de mínimo 20 cm. A norma recomenda que se realize a compactação com rolo liso vibratório (4500 kg), energia modificada e grau de compactação acima de 90%. As características do fresado RAP foram obtidas nos Laboratórios da UFSCar e Laboratório da Usina Bandeirantes. Identificou-se teor de ligante do agregado RAP pelo método de extração por ignição em forno mufla (ASTM D6307, 2019) em 5,85%. Quanto às características granulométricas, o fresado apresentou D_{10} de 1,19 mm, D_{30} de 4,0 mm, D_{60} de 12,5 mm, C_c de 1,08 e C_u de 10,50. De modo a atingir o grau de compactação, foram necessárias 10 passadas do rolo compactador liso vibratório, em campo.

Em campo, após a compactação da camada inicial de RAP, foram instalados painéis de geogrelhas de 1,10 x 1,50 m. Durante a instalação, as geogrelhas foram fixadas para que não se movessem através do agregado durante a passagem do rolo. Sobre as geogrelhas, foi compactada uma camada de 20 cm de agregado RAP. Após a conclusão da instalação das geogrelhas e camadas compactadas de agregado RAP, as amostras foram deixadas em campo por um curto período de tempo (48 horas) antes de serem exumadas. A Figura 1 apresenta respectivamente a camada compactada de RAP, as geogrelhas instaladas e o equipamento de compactação sobre a camada de RAP.



Figura 1 – Procedimento experimental para ensaio de dano de instalação em campo em geogrelhas e agregado RAP.

As amostras foram cuidadosamente exumadas utilizando ferramentas manuais, e as geogrelhas foram inspecionadas visualmente para identificar danos de abrasão, punção, corte e espraiamento dos filamentos ou quaisquer observações pertinentes. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos etiquetados e, assim como as amostras intactas, foram enviadas ao laboratório para ensaios de resistência à tração, bem como para uma avaliação mais aprofundada sobre os tipos de danos sofridos. A Figura 2 apresenta a fase de exumação das geogrelhas. Dentre os principais mecanismos de danos observados nas Geogrelha A

estão os danos de corte (somente algumas cerdas dos filamentos), abrasão, e espriamento (quando os filamentos não rompem mas se abrem) foram os mais comuns. Já na Geogrelha B, foram observados os mecanimos de abrasão e espriamento, porém sem cortes e sem dano visível de amassamento.

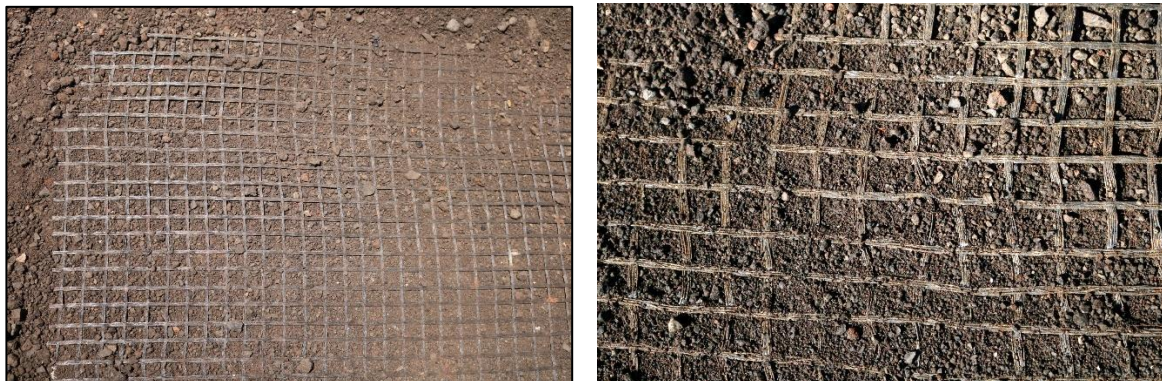


Figura 2 – Geogrelhas instaladas em camadas compactadas de agregado RAP após exumação.

Nesta pesquisa, um lote de cada amostra de geogrelha foi testado em campo, sendo o primeiro conforme recebido (ou seja, intacto) e outro após ter sido exposto à tensões de compactação em campo. Os resultados de resistência à tração das amostras intactas foram usados como base para calcular o fator de redução (FR_{DI}) de resistência. Todos os materiais foram testados na direção de fabricação (longitudinal), e vinte corpos-de-prova foram testados para cada amostra de geogrelha. Após a conclusão dos ensaios, foram anotados a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação para cada amostra. Por fim, o fator de redução de resistência foi calculado para determinar, em média, quanto de resistência foi perdida em cada lote de amostras devido aos dados de instalação em agregado RAP. Considerou-se que, como a instalação e a exumação das geogrelhas ocorreram em poucas horas, outros efeitos como fluência ou degradação ambiental não atuaram sobre os corpos-de-prova-de. Obteve-se assim os valores de fator de redução devido aos dados de instalação (FR_{DI}) pela equação (1):

$$FR_{DI} = \frac{T_{ref}}{T_{exp}} \quad (1)$$

onde FR_{DI} = o fator de redução de resistência devido aos danos de instalação; T_{ref} é a resistência média de ruptura da geogrelha conforme recebido (intacto); e T_{exp} é a resistência média de ruptura da geogrelha exposta.

3 RESULTADOS

Após a realização de ensaios de tração nas amostras exumadas, os resultados indicaram redução na resistência à tração máxima das amostras e, conseqüente dano de instalação devido ao RAP. No entanto, o dano foi visualmente mais significativo na amostra A. A Figura 3 apresenta uma comparação dos valores médios de resistência à tração de geogrelhas de poliéster intactas e após danos de instalação em agregado RAP.

Assim, antes de calcular o fator de redução de dano de instalação, foi verificado se os resultados de resistência à tração média são significativamente diferentes quando comparadas amostras intactas e amostras que sofreram danos de instalação. Para isso, foi realizado um teste Shapiro-Wilk para verificar a normalidade da distribuição, permitindo-nos comparar as médias encontradas e avançar com uma análise utilizando o teste t de Student. Para tanto foi utilizado o software jamovi. (Version 2.3) de The jamovi project (2022). Os resultados do teste Shapiro-Wilk (valor de p), assim como desvio padrão (δ) e média (μ) são apresentados na Tabela 2.

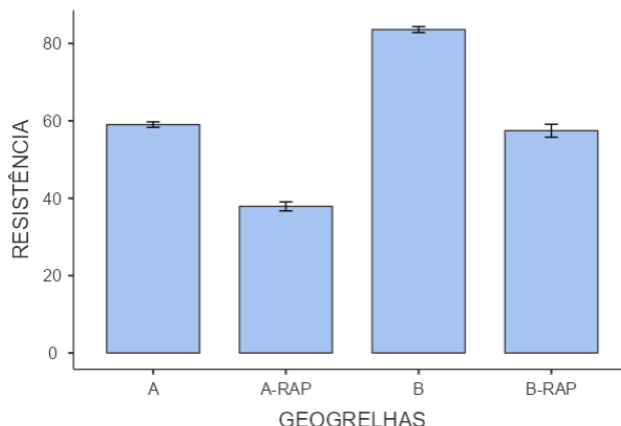


Figura 3 – Valores médios de resistência à tração de geogrelhas de poliéster intactas e após danos de instalação em agregado RAP.

Tabela 2 – Estatística descritiva.

Geogrelha	p	Média (μ)	Desvio Padrão (δ)
A	0.426	59.0	2.23
B	0.284	83.6	2.43
A _{rap}	0.255	37.9	4.02
B _{rap}	0.305	57.5	5.30

Com base nos valores de p obtidos, sugere-se que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de normalidade. Isso significa que, com base nos dados disponíveis e no teste estatístico realizado, é razoável supor que o pressuposto de normalidade é atendido para os propósitos da análise estatística. Portanto, verificou-se que os resultados das geogrelhas ensaiadas estão dentro do intervalo de confiança, prosseguindo para os cálculos do fator de redução médio (FR_{DI}). Os valores máximo e mínimo obtidos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados de FR_{DI} em geogrelhas compactadas em agregado RAP.

Geogrelha Ensaçada	$FR_{DI\text{médio}}$	$FR_{DI\text{máx.}}$	$FR_{DI\text{mín.}}$
A	1.56	1.73	1.41
B	1.45	1.65	1.37

Com base nos resultados obtidos, foi constatado que o agregado RAP ocasionou danos significativos durante o processo de instalação das geogrelhas A e B utilizadas nesta pesquisa. Essa constatação era esperada, considerando-se que o RAP é composto por uma parcela de agregado graúdo (brita) e uma parcela de agregado miúdo (areia de brita), sendo este último proveniente da quebra dos grãos no processo de fresagem da camada asfáltica. Todas as amostras de geogrelhas exumadas apresentaram um ou mais tipos de mecanismos de danos, conforme observado e descrito por Lim e MacCartney (2013), tais como corte, abrasão, espriamento e esmagamento. Os valores do fator de FR_{DI} ficaram abaixo dos valores indicados por Koerner et al. (2023) para o danos em geogrelha em agregado na faixa granulométrica #57 da AASHTO. Isso pode ser justificado pela granulometria do RAP, que inclui uma considerável parcela de agregado miúdo em sua composição, aumentando a área de contato e a melhorando a distribuição de tensão de compactação nas camadas.

4 CONCLUSÕES

Os ensaios de resistência à tração em amostras exumadas de geogrelhas de poliéster após ensaio de danos de instalação em campo, em agregado RAP, revelaram uma redução na resistência à tração máxima, evidenciando a ocorrência de danos devido agregado de asfalto fresado. A análise estatística, realizada utilizando o teste Shapiro-Wilk e o teste t de Student, indicou que os resultados das geogrelhas ensaiadas estão dentro do intervalo de confiança, corroborando a suposição de normalidade para os propósitos da análise estatística. Os cálculos do FR_{DI} (fator de redução devido a danos de instalação) mostraram que o agregado RAP causou danos significativos durante o processo de instalação das geogrelhas, observados através de diversos mecanismos de danos como corte, abrasão e espraçamento. No entanto, os valores do FR_{DI} encontrados, entre 1,45 e 1,56, ficaram, em média, abaixo dos indicados por referências anteriores para danos em geogrelhas em agregado convencional, possivelmente devido à composição granulométrica específica do agregado RAP, que inclui uma parcela considerável de agregado miúdo, afetando a distribuição de tensão de compactação nas camadas. Esses resultados destacam a importância de considerar as propriedades específicas do RAP ao projetar e executar obras que envolvam seu uso, visando mitigar os danos potenciais nas geogrelhas e garantir a integridade das estruturas.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo expressam gratidão às empresas que apoiaram esta produção científica: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DER - DR4), Correia Terraplanagem, Grupo Bandeirantes, OBER Geossintéticos e Laboratório de Geotecnia da Universidade Federal de São Carlos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials* – ASTM (2023) D 6637-23. 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 (2022) D 5818-22. Standard Practice for Exposure and Retrieval of Samples to Evaluate Installation Damage of Geosynthetics. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- American Society for Testing and Materials* – ASTM (2019). D 6307: Standard test method for asphalt content of asphalt mixture by ignition method. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Biazotto, R. P. & Avesani, J. O. N. (2018). *Obtenção de danos de instalação em geogrelhas a partir de ensaios em campo*. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano – Cobramseg.
- Fleury, M. P., Santos, E. C. G., Lins da Silva, J., & Palmeira, E. M. (2019). *Geogrid installation damage caused by recycled construction and demolition waste*. *Geosynthetics International*, 26(6), 641–656. <https://doi.org/10.1680/jgein.19.00050>
- Koerner, G. R., Loux, T., Filshill, A., & Schuller, J. (2023). *Geosynthetic damage due to installation stresses in ultra-light weight foamed glass aggregate versus conventional aggregate*. In *Geosynthetics: Leading the Way to a Resilient Planet* (pp. 213–218). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003386889-8>
- 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), 62–72. <https://doi.org/10.1680/gein.13.00002>
- Liu, L., Zhang, Z., Zhang, L., Tang, Y., & Yin, J. (2023). *Effect of Temperature on Interface Characteristics between Compacted Recycled Asphalt Pavement and Geogrid*. *Advances in Civil Engineering*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/4596750>

- Mariyappan, R., Palammal, J. S., & Balu, S. (2023). *Sustainable use of reclaimed asphalt pavement (RAP) in pavement applications—a review*. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 30, Issue 16, pp. 45587–45606). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25847-3>
- Paula, A. M., Lopes, M. P., De, M., & Lopes, L. (2004). *Damage during installation laboratory test. Influence of the type of granular material*. <https://www.researchgate.net/publication/277191942>
- Rathje, E., Trejo, D., & Folliard, K. (2006). *Project 0-477: Use of Recycled Asphalt Pavement and Crushed Concrete as Backfill for Mechanically Stabilized Earth Retaining Walls Potential Use of Crushed Concrete and Recycled Asphalt Pavement as Backfill for Mechanically Stabilized Earth Walls*.
- Soleimanbeigi, A., Ozocak, A., Li, B., Akmaz, E., Dayioglu, A. Y., Tanyu, B. F., Aydilek, A. H., & Likos, W. J. (2022). *Mechanical and hydraulic compatibility of RAP with geosynthetics used in MSE walls*. *Geosynthetics International*, 29(1), 1–18. <https://doi.org/10.1680/jgein.21.00016>
- The jamovi project (2022). jamovi. (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- Yin, J., Soleimanbeigi, A., Likos, W. J., & Edil, T. B. (2017). *Effects of Temperature on Creep Behavior of Compacted Recycled Asphalt Pavement*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 143(4). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0001636](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0001636)
- Zhu, Y., Zhang, F., & Jia, S. (2022). *Embodied energy and carbon emissions analysis of geosynthetic reinforced soil structures*. *Journal of Cleaner Production*, 370. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133510>.