

Estradas não pavimentadas reforçadas com geossintéticos: Importância dos parâmetros de desempenho do geossintético e interação com o material de aterro.

Ivonne A. Gutierrez Gongora

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, ivonnegg_86@yahoo.com

Ennio Marques Palmeira

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, palmeira@unb.br

RESUMO: No Brasil, e no mundo, tem-se grande extensão de estradas não pavimentadas, sendo elas a maior porcentagem da rede viária. No país, elas constituem mais do 80% do total das estradas. Entretanto, elas têm sido pouco estudadas, deixando-se de lado múltiplas situações que podiam levar a entender melhor o seu comportamento. Além de desenvolver soluções para ter estradas não pavimentadas mais duradouras, econômicas e resistentes. Neste trabalho optou-se por estudar vários tipos de reforço geossintético, analisando a influência de distintas variáveis importantes a serem consideradas em estradas não pavimentadas reforçadas. Entre tais variáveis destacam-se a geometria do geossintético, interação aterro-reforço, rigidez à tração do reforço e módulo de estabilidade da abertura da geogrelha (ASM). No estudo foi utilizado um equipamento de grandes dimensões, projetado e construído especialmente para a pesquisa, onde foram realizadas simulações do tráfego por meio da aplicação de carregamentos cíclicos. Nos ensaios visou-se simular uma estrutura comum de estrada não pavimentada sob material compressível, no caso areia fofa. Como aterro utilizou-se brita. Destaca-se que durante os testes foram também simuladas manutenções superficiais da estrada. Cada um dos ensaios foi monitorado mediante instrumentação adequada, visando medir os deslocamentos do aterro e as tensões no subleito. Os resultados obtidos mostram a influência de propriedades como geometria e rigidez à tração das geogrelhas no comportamento da estrada e o notável aumento do número de repetições de carga suportadas pelas estradas reforçadas.

PALAVRAS-CHAVE: Estradas não pavimentadas, Geossintéticos, Carregamento Cíclico, Módulo de Estabilidade da Abertura (ASM).

1 INTRODUÇÃO

A maior parte da rede viária brasileira é constituída por estradas não pavimentadas. No Brasil elas constituem aproximadamente 80 % da malha viária, sendo de grande importância para a economia do país, pois permitem o acesso a serviços como saúde e educação. Servem também para o transporte de produtos das indústrias agrícola, de mineração e florestal, entre outras.

Este tipo de estradas tem como principal objetivo servir como vias de acesso e suportar

normalmente baixos volumes de tráfego.

As estradas não pavimentadas quando construídas sobre subleitos fracos ou moles, são afetadas pelo tráfego de veículos pesados e por fatores climáticos, sendo que tais fatores podem acelerar a degradação das mesmas. Isso aumenta os custos de manutenção e em ocasiões de chuva/alta pluviosidade pode levar a interrupções do tráfego, dependendo do estado da estrada.

Alguns tipos de geossintéticos podem ser utilizados como reforço deste tipo de via e aumentar sua vida útil. Os geossintéticos podem

desempenhar diversas funções em uma obra geotécnica, como separação, drenagem, reforço, proteção, entre outras. Para o caso específico das estradas não pavimentadas, sua função principal é a de reforço, com benefícios secundários em drenagem e separação, dependendo do tipo de geossintético e do subleito. Nestes casos são utilizados geralmente geogrelhas e geotêxteis. As geogrelhas são mais eficientes devido à maior interação com o material de aterro. Segundo estudos do Banco Mundial (1993) a implantação de melhorias na rede viária tem efeitos imediatos na redução do custo operacional do sistema de transporte e na expansão dos serviços públicos nas áreas rurais (Baesso e Gonçalves, 2003).

No presente trabalho estudou-se o comportamento de estradas não pavimentadas, reforçadas com geossintéticos. Foi avaliada a relevância de propriedades do reforço como rigidez à tração, dimensões da abertura de geogrelhas e módulo de estabilidade da abertura (ASM) no comportamento mecânico da estrada. O ASM tem sido considerado por alguns como um parâmetro importante para o projeto de estradas não pavimentadas reforçadas, sendo necessário para a utilização do método de projeto apresentado por Giroud e Han (2004).

2 MATERIAIS EMPREGADOS

2.1 Solo de subleito

O material de subleito usado nos ensaios foi uma areia uniforme de quartzo hialino, com grãos de formato geral arredondado. A escolha desse material foi simplesmente para se ter um subleito compressível que também permitisse a realização de um grande número de ensaios em menor tempo. Na Figura 1 é mostrada a curva granulométrica da areia utilizada e na Tabela 1 são apresentadas suas propriedades mais relevantes.

2.2 Aterro

Como material de aterro empregou-se brita (brita 1). A espessura do aterro da estrada foi de 30 cm. A brita utilizada tem origem calcária

e é procedente da pedreira Guapó, localizada no estado de Goiás. Na Tabela 2 são apresentadas suas propriedades geotécnicas relevantes e na Figura 2 é exibida a sua curva granulométrica.

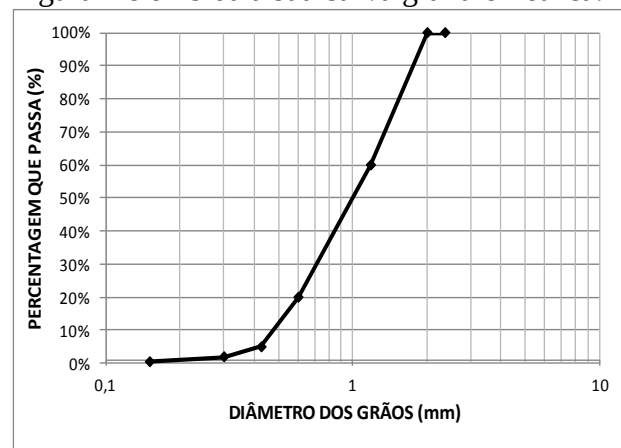


Figura 1. Curva granulométrica do material de subleito usados nos ensaios.

Tabela 1. Propriedades do solo utilizado como material de subleito

Propriedade	Valor
Diâmetro médio das partículas D_{50} (mm)	1,35
Coefficiente de uniformidade (Cu)	2,3
Coefficiente de curvatura (Cc)	0,83
Classificação SUCS	SP
Peso específico dos sólidos (kN/m^3)	26,4
Peso específico mínimo (kN/m^3)	15,94
Peso específico máximo (kN/m^3)	18,6
Coesão (kPa)	0
Ângulo de atrito ($^{\circ}$)	31,3
Índice suporte Califórnia (CBR) (%)	1,6

Tabela 2. Propriedades do solo utilizado como material de aterro.

Propriedade	Valor
Densidade real dos grãos (Gs)	2,65
Massa específica seca (g/cm^3)	1,76
Absorção de água (%)	0,50
Abrasão Los Angeles (%)	36,00
Coesão (kPa)	0,00
Ângulo de atrito ($^{\circ}$)	43,20
Umidade ótima (%)	2,00

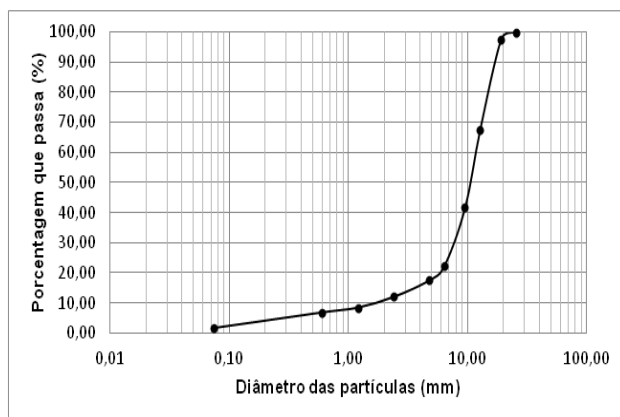


Figura 2. Curva granulométrica do material de aterro empregado nos ensaios.

2.3 Geossintéticos utilizados

A fim de avaliar a influência das diferentes características e propriedades dos geossintéticos foram empregados diferentes geossintéticos. Além disso, foram empregadas algumas geogrelhas confeccionadas no laboratório com tiras plásticas. Isto teve como objetivo variar algumas propriedades da geogrelha, como dimensões da abertura da malha, enquanto se mantinham outras fixas (por exemplo, a rigidez a tração e o módulo de estabilidade da abertura).

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentadas as características dos geossintéticos comerciais usados como reforços nas estradas não pavimentadas simuladas neste trabalho. Já nas Tabelas 5 e 6 são mostradas as características das grelhas confeccionadas no laboratório.

Tabela 3. Geogrelhas comerciais usadas nos ensaios.

REFORÇO	Geogrelha 1 (G1)	Geogrelha 2 (G2)	Geogrelha 3 (G3)
Abertura da malha(mm)	18,4 x 21,0	23,0 x 35,0	11,6 x 15,0
Material de fabricação	Poliéster	Poliéster	Polipropileno
Resistência a tração MD (Direção de fabricação) (kN/m)	109	92	18
Resistência a tração XD (Normal à direção de fabricação) (kN/m)	30	—	—
Rigidez à tração a 5 % de deformação (kN/m)	893	811	417
Deformação na ruptura (%)	16,1	15,0	5,2
Módulo de estabilidade da abertura (ASM)	0,033	0,074	0,04

REFORÇO	Geogrelha 4 (G4)	Geogrelha 5 (G5)	Geogrelha 6 (G6)
Abertura da malha(mm)	14,1 x 18,5	40,0 x 40,0	15,0 x 15,0
Material de fabricação	Poliéster	Polipropileno	Polipropileno
Resistência a tração MD (Direção de fabricação) (kN/m)	142	38	43
Resistência a tração XD (Normal à direção de fabricação) (kN/m)	30	—	—
Rigidez à tração a 5 % de deformação (kN/m)	1165	474	627
Deformação na ruptura (%)	16,0	12,5	7,9
Módulo de estabilidade da abertura (ASM)	0,036	0,107	0,029

Tabela 4. Geogrelhas confeccionadas no laboratório usadas nos ensaios

REFORÇO	Geogrelha 7 (G7)	Geogrelha 8 (G8)	Geogrelha 9 (G9)
Abertura da malha(mm)	30 x 30	30 x 30	60 x 60
Material de fabricação	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno
Resistência a tração MD (Direção de fabricação) (kN/m)	12,9	21	15
Resistência a tração XD (Normal à direção de fabricação) (kN/m)	—	—	—
Rigidez à tração a 5 % de deformação (kN/m)	72	117	164
Deformação na ruptura (%)	25,6	39	14,9
Módulo de estabilidade da abertura (ASM)	0,043	0,067	0,095

REFORÇO	Geogrelha 10 (G10)	Geogrelha 11 (G11)	Geogrelha 12 (G12)
Abertura da malha(mm)	60 x 60	30 x 30	60 x 60
Material de fabricação	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno
Resistência a tração MD (Direção de fabricação) (kN/m)	44,7	20,9	20,8
Resistência a tração XD (Normal à direção de fabricação) (kN/m)	—	—	—
Rigidez à tração a 5 % de deformação (kN/m)	300	416	261
Deformação na ruptura (%)	36	23,6	30,4
Módulo de estabilidade da abertura (ASM)	0,103	0,133	0,054

As propriedades dos geossintéticos empregados foram determinados em laboratório. Mais informações sobre os geossintéticos utilizados podem ser encontrados em Góngora (2015).

3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

3.1 Equipamento para ensaios

Para a realização dos ensaios foi indispensável a construção de um equipamento de grandes dimensões para simular o mais próximo possível o comportamento de uma estrada não pavimentada reforçada com geossintéticos. Para este fim, foi usado um tanque cilíndrico de concreto. Este tanque possui as seguintes dimensões: diâmetro interno de 1,00 m e altura de 0,52 m. Estas dimensões foram suficientes para representar uma camada de aterro de 30 cm de espessura. Destaca-se que estas dimensões foram escolhidas pelos autores do presente trabalho. A camada de subleito foi de 20 cm de espessura. Deve-se frisar que a intenção dos ensaios não foi simular uma estrada real sob todos os seus aspectos, mas se ter um subleito compressível para avaliação da influência de parâmetros relevantes dos reforços sob condições próximas às encontradas no campo. Neste contexto, o subleito arenoso permitiu maior facilidade e rapidez na execução dos

ensaios. Na Figura 3 é apresentado o equipamento empregado neste trabalho.

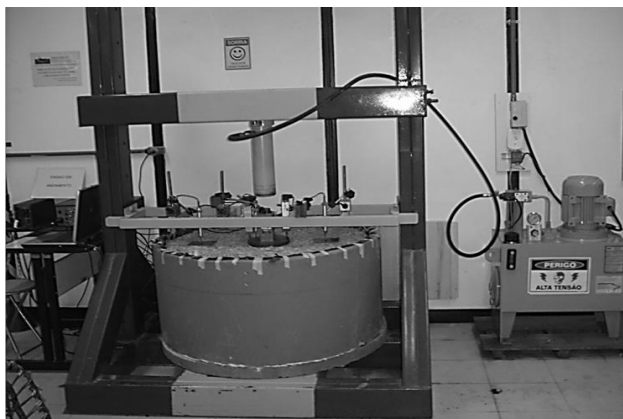


Figura 3. Equipamento usado para a simulação de estradas não pavimentadas.

3.2 Instrumentação utilizada nos ensaios

Cada um dos ensaios foi monitorado por meio de instrumentação apropriada, consistindo de célula de carga (para medição da carga vertical), cinco células de tensões totais no solo de subleito e cinco transdutores de deslocamentos na superfície do aterro. Na camada de subleito foram colocadas células de tensões totais no eixo de aplicação de carga e nas laterais. Foram instalados três transdutores de deslocamento nas bordas da placa de carregamento, e outros dois se situaram na lateral esquerda e direita da placa metálica com uma distância de 0,10 m com relação à placa. Os sinais gerados pela instrumentação foram adquiridos por meio de um aquisitor de dados Lynx.

4 METODOLOGIA

A montagem do ensaio compreendeu a colocação do solo de subleito junto com a instrumentação, a instalação da camada de reforço, se fosse o caso, e a disposição da camada de aterro. Antes da colocação dos solos no equipamento para ensaios era instalada uma camada de plástico lubrificada (vaselina) com a finalidade de minimizar o atrito lateral produzido pelo contato entre o solo e a superfície interna do tanque. Posteriormente, a areia usada como subleito foi colocada, com

espessura de 0,22 m, no estado fofo, para garantir que o subleito oferecesse alta compressibilidade e uma baixa capacidade de suporte. Nesta camada foram instaladas células de tensões totais no eixo de aplicação de carga e nas suas laterais, com o intuito de medir as tensões transmitidas ao subleito. A seguir, foi colocada a camada de reforço, a qual possuía um diâmetro de 1,50 m, um pouco maior que o diâmetro do equipamento de ensaio, para permitir a ancoragem das extremidades do geossintético no solo de aterro. A ancoragem foi realizada dobrando-se a geogrelha e embutindo-se 10 cm dela no aterro. Por fim, era colocada a camada de aterro. Sua compactação foi realizada em três camadas, sendo utilizada compactação estática, com ajuda do sistema de aplicação de carga e empregando-se uma placa de aço com diâmetro levemente inferior que o diâmetro interno do tanque. A altura final da camada de aterro foi 0,30 m. Na Figura 4 é mostrado um esquema da disposição das camadas na estrada.

Durantes os testes, foi aplicado um primeiro estágio de carregamento com uma frequência de 1 Hz e uma pressão de 560 kPa, imediatamente após a construção da estrada, até atingir 75 mm de afundamento na superfície da placa de carregamento. A seguir, a superfície da estrada foi restaurada preenchendo-se o afundamento provocado pela placa com brita nas mesmas condições iniciais. Após a restauração, um segundo estágio de carga foi aplicado sobre a estrada mantendo as mesmas condições de carga do primeiro estágio de carregamento.

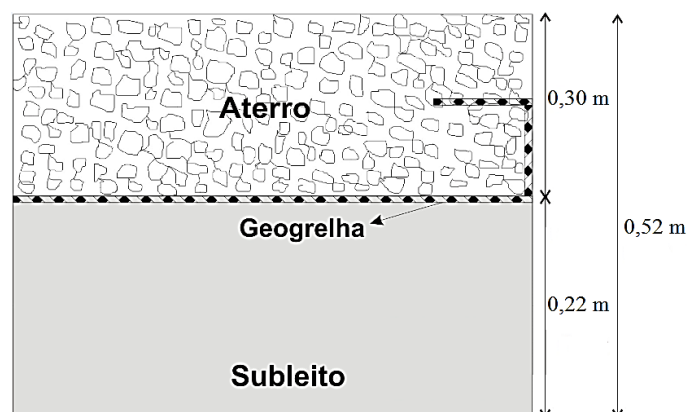


Figura 4. Seção transversal de parte da estrada não pavimentada simulada nos ensaios com detalhe da ancoragem da extremidade do reforço.

5 RESULTADOS

5.1 Primeiro estágio de carregamento

Na Figura 5 são apresentados os deslocamentos verticais da placa de carregamento *versus* o número de repetições de carga para as geogrelhas G1 a G6 no primeiro estágio de carregamento (imediatamente após a execução da estrada). Na figura é observado que a estrada com melhor desempenho foi a reforçada com a geogrelha G1, que suportou 340.068 ciclos de carga. As estradas reforçadas atingiram o afundamento de placa de 75 mm com números de ciclos bem maiores que o observado no ensaio não reforçado ($N = 2.810$).

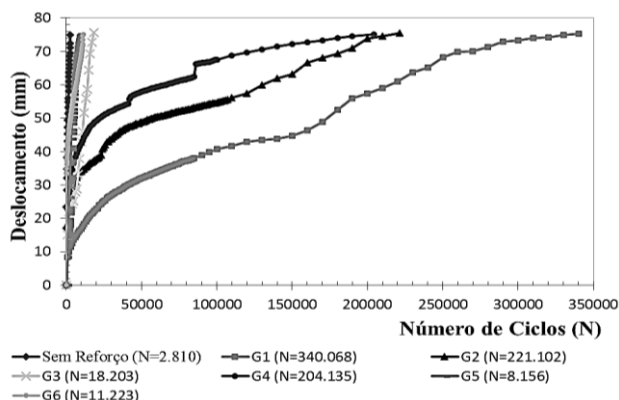


Figura 4. Deslocamentos verticais da placa de carregamento *versus* o número de ciclos de carga para geogrelhas comerciais– Primeiro estágio de carga.

Com relação ao número de ciclos de carga suportados pelas estradas, as reforçadas com as geogrelhas G1, G2 e G4 apresentaram melhores desempenhos. Isso pode ser, em parte, devido ao fato de serem as grelhas que apresentam maiores valores de rigidez à tração, em comparação com as demais.

Na Figura 5 são apresentados os deslocamentos da placa de carregamento *versus* o número de ciclos de carga para as geogrelhas que foram fabricadas em laboratório. Nota-se que as geogrelhas G7 e G9, com as mesmas dimensões de aberturas, mas diferentes módulos de estabilidade da abertura (ASM), mostraram comportamentos similares, suportando aproximadamente o mesmo número de repetições de carga. O mesmo ocorreu com as geogrelhas G8 e G10. Já as geogrelhas G11 e

G12 se comportaram de forma diferente. Estes resultados mostram que não necessariamente uma geogrelha com maior módulo de estabilidade à abertura resulta em um melhor desempenho da estrada reforçada em termos de número de repetições de carga. De acordo com os resultados obtidos, acredita-se que propriedades como rigidez à tração e relação entre dimensões das aberturas da grelha e diâmetro dos grão de aterro são mais importantes que o ASM.

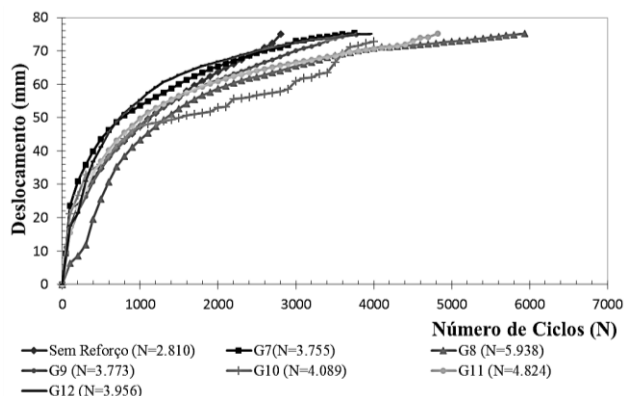


Figura 5. Deslocamentos verticais da placa de carregamento *versus* o número de ciclos de carga para geogrelhas fabricadas em laboratório– Primeiro estágio de carga.

Na Figura 6 mostram-se as variações das tensões totais com a profundidade no subleito em ensaios com as geogrelhas G1 a G6. Nota-se que as tensões para a estrada construída com as geogrelhas G1 e G3 foram similares ao final do ensaio para as duas profundidades analisadas. As tensões verticais no subleito das estradas reforçadas com as geogrelhas G5 e G6 foram as maiores medidas nos ensaios. Entretanto, as tensões medidas nos ensaios com reforço foram menores que as medidas no ensaio da estrada não reforçada.

Na Figura 7 são apresentadas as tensões totais *versus* a profundidade para as estradas reforçadas com as geogrelhas confeccionadas no laboratório. Observa-se que as tensões nos ensaios reforçados com as geogrelhas G7, G8 e G11 são similares. As tensões apresentadas pela estrada reforçada com a geogrelha 10 foram menores quando comparadas com as das outras estradas. Também nestes ensaios se observaram maiores tensões no subleito no caso da estrada

sem reforço.

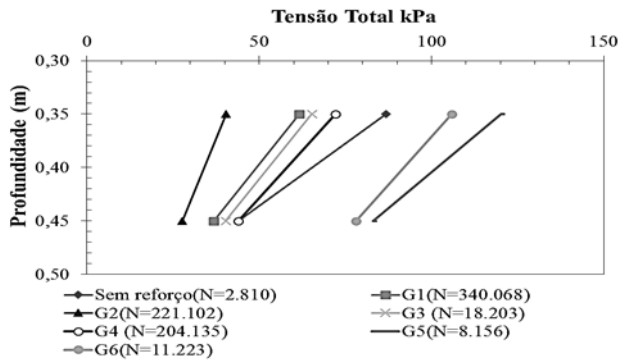


Figura 6. Tensões totais máximas *versus* profundidade para as estradas reforçadas com reforços comerciais - Primeiro estágio de carga.

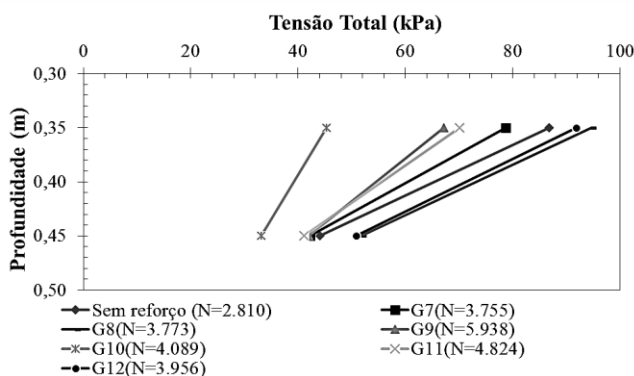


Figura 7. Tensões totais máximas *versus* profundidade para as estradas reforçadas com reforços fabricados - Primeiro estágio de carga.

5.2 Segundo estágio de carregamento

Como descrito anteriormente, ao final do primeiro estágio de carregamento procedeu-se à restauração da superfície da estrada preenchendo-se o afundamento provocado pela placa de carregamento com brita. Na Figura 8 são mostrados os deslocamentos verticais da placa de carregamento *versus* o número de repetições de carga para o segundo estágio de carga e para reforços G1 a G6. Observa-se que as geogrelhas G1 e G2 foram as que apresentaram os menores deslocamentos até $N = 270.000$, quando foram finalizados os ensaios por não se ter atingido o afundamento superficial estabelecido de 75 mm. Também nota-se que neste estágio de carga a geogrelha que continuou mostrando o melhor desempenho foi a G1, como no 1º estágio de carga.

A Figura 9 exibe os deslocamentos da placa

de carregamento *versus* o número de ciclos de carga para os ensaios realizados com os reforços fabricados no laboratório, após a restauração da superfície da estrada. Pode-se ver que as estradas que suportaram maiores números de ciclos de carga foram as reforçadas com as geogrelhas G7, G9, G10 e G12. A estrada reforçada com a geogrelha G10 foi a que menor afundamento apresentou para $N = 270.000$ (aproximadamente 38 mm). Tal fato pode ser devido a uma adequada interação entre o reforço e o material de aterro e compactação do subleito durante o primeiro estágio de carga.

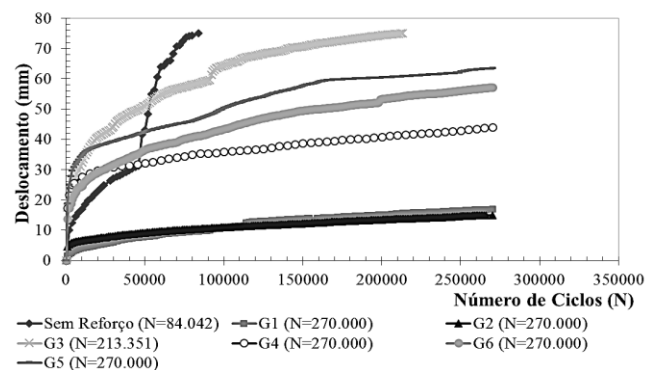


Figura 8. Deslocamentos verticais da placa de carregamento *versus* o número de ciclos de carga para geogrelhas comerciais – Segundo estágio de carga.

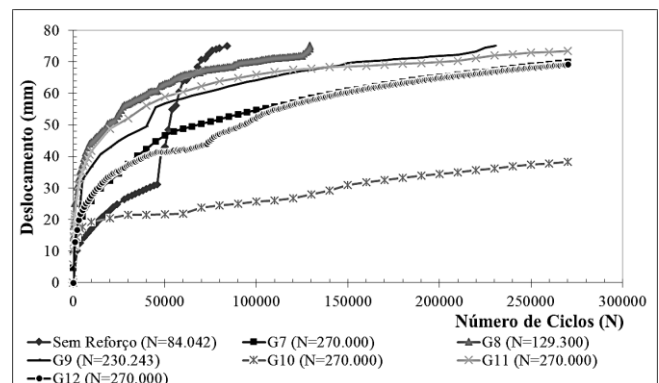


Figura 9. Deslocamentos verticais da placa de carregamento *versus* o número de ciclos de carga para geogrelhas fabricadas em laboratório – Segundo estágio de carga.

5.3 Influência de propriedades das geogrelhas nos resultados obtidos.

Na Figura 10 são apresentados os valores de número de repetições de carga para cada estrada simulada *versus* os módulos de estabilidade da abertura (ASM) das geogrelhas usadas na

pesquisa. No gráfico percebe-se que não existe uma tendência clara entre o ASM e o número de repetições de carga. Giroud e Han (2004), no seu método de projeto de estradas não pavimentadas, utilizaram esse parâmetro na calibração do método. Estes autores afirmam que reforços com valores de ASM maiores seriam mais eficientes. Os resultados obtidos no presente trabalho mostram que o ASM não tem relação com o comportamento mecânico da estrada. Desta forma, destaca-se que parâmetros como relação tamanho da abertura/dimensão do grão de aterro e rigidez à tração da geogrelha têm mais relevância para o desempenho da estrada. Resultados semelhantes foram obtidos por Palmeira e Góngora (2015), a partir de dados apresentados por Cuelho *et al.* (2014).

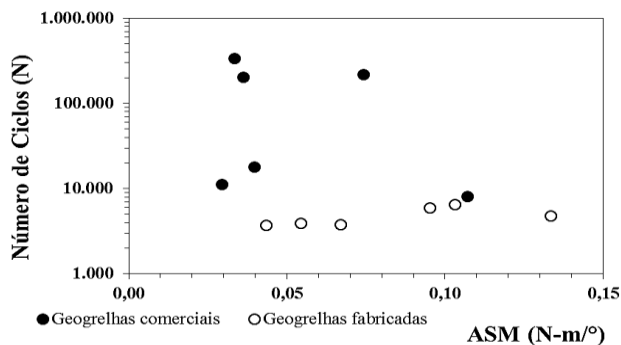


Figura 10. Número de repetições de carga *versus* módulo de estabilidade da abertura (ASM).

A Figura 11 mostra a variação do número de repetições de carga suportados pelas estradas simuladas *versus* a razão entre a abertura equivalente das geogrelhas e o diâmetro médio dos grãos do material de aterro (abertura/ D_{50}). A abertura equivalente de uma geogrelha com aberturas quadradas ou retangulares é definida como a média geométrica das dimensões da abertura (Khaja 2010, Hussaini 2012). Na Figura 11 é possível observar que para o material de aterro empregado nesta pesquisa existe uma relação ótima entre a abertura das grelhas usadas e o diâmetro médio dos grãos do aterro de aproximadamente 2,0. No que se refere ao D_{85} dos grãos de aterro, a relação ótima foi de 0,9. Na relação ótima entre tamanho dos grãos e dimensão da abertura há uma melhor interação entre geogrelha e

material de aterro.

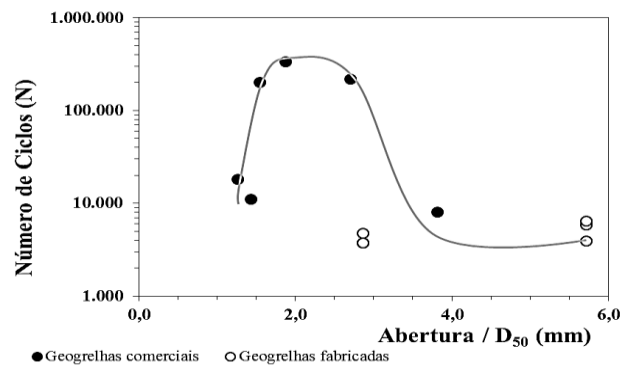


Figura 11. Número de repetições de carga *versus* abertura equivalente da geogrelha / D_{50} para as geogrelhas usadas na pesquisa.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudado o comportamento de estradas não pavimentadas reforçadas com geossintéticos, avaliando-se a influência de diferentes propriedades do reforço. As principais conclusões obtidas neste estudo são apresentadas a seguir:

Os reforços geossintéticos empregados nas estradas não pavimentadas simuladas aumentaram o número de repetições de carga suportados pelas estradas e reduziram as tensões verticais transferidas para o subleito. Diferentes níveis de melhoria foram observados, dependendo do reforço considerado.

O desempenho dos reforços foram influenciados por uma combinação de fatores, envolvendo suas propriedades físicas e mecânicas. Os resultados obtidos mostraram que a rigidez à tração das geogrelhas, é uma propriedade que desempenha um papel muito importante no comportamento das estradas simuladas, bem como a relação entre dimensões da abertura da grelha e tamanho dos grãos do material de aterro.

Para as condições dos ensaios não se observou relação entre o módulo de estabilidade da abertura (ASM) e o número de repetições de carga suportado pelas estradas.

Um bom desempenho da estrada reforçada com geogrelha depende de uma combinação de fatores, tais como rigidez à tração, dimensões

das grelhas face às dimensões dos grãos do aterro e interação aterro-geogrelha. Neste contexto, pesquisas adicionais são necessárias para uma melhor compreensão dos fatores que influenciam o desempenho de estradas não pavimentadas sobre subleitos com baixa capacidade de suporte.

Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, Vol. 2, No. 1: 1-17.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à seguintes instituições que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho de diversas formas: Universidade de Brasília, CNPq-Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico e s fabricantes dos reforços utilizados.

REFERÊNCIAS

- Baesso, D.P, Gonçalves, F.L. (2003). *Estradas Rurais: Técnicas Adequadas de manutenção*. Manual Técnico, Florianópolis, Der. 236 p.
- Banco Mundial. (1993). World development report. Oxford, England: Oxford University Press.
- Cuelho, E., Perkins, S., Morris, Z. (2014). Relative Operational Performance of Geosynthetics Used as Subgrade Stabilization. Final Project Report - FHWA/MT-14-002/7712-251. Western Transportation Institute, Montana State University – Bozeman. 313 p.
- Giroud J., Han J. (2004). Design method for Geogrid-Reinforced unpaved roads. I. Development of Design Method. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 130, No. 8: 775-786.
- Góngora, I.A.G. (2015). *Estradas não Pavimentadas Reforçadas com Geossintéticos: Influência de Propriedades Físicas e Mecânicas do Reforço*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 95 p.
- Hussaini SKK (2012) *An experimental study on the deformation behaviour of geosynthetic reinforced ballast*. PhD Thesis, University of Wollongong, Australia
- Khaja, K.H.S (2010). *An Experimental Study on the Deformation Behaviour of Geosynthetically Reinforced Ballast*. Doctoral Thesis. University of Wollongong, Australia.
- Palmeira, E.M. Góngora, I.A.G. (2015). Assessing the Influence of Some Soil-Reinforcement Interaction Parameters on the Performance of a Low Fill on Compressible Subgrade. Part I: Fill Performance and Relevance of Interaction Parameters. International