

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
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Capacidade de suporte de bases de pavimento reforçadas com geossintéticos

Hugo Hemerly Scandian

Estudante de engenharia civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil,
hugohemerly@gmail.com

Karla Maria Wingler Rebelo

Professora Adjunta II, Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, kmwingler@gmail.com.

RESUMO: Esse trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento mecânico de um solo típico da região do Espírito Santo, reforçado com um geotêxtil PET não tecido. Para tal, foram realizados ensaios de California Bearing Ratio (CBR) com o geotêxtil inserido em diferentes posições nas camadas de solo compactado. Para os materiais e condições utilizadas nessa pesquisa, verificou-se um pequeno aumento na capacidade de suporte do solo, sendo verificados maiores aumentos nas inserções mais próximas da base do corpo de prova.

PALAVRAS-CHAVE: Reforço, Geossintéticos, Ensaios CBR.

ABSTRACT: The objective of this research was to evaluate the mechanical behavior of a soil typical of the region of Espírito Santo reinforced with a non-woven PET geotextile. For this purpose, California Bearing Ratio (CBR) tests were performed with the geotextile inserted in different positions in the compacted soil layers. For the materials and conditions used, there was a small increase in the soil bearing capacity, with greater increases being observed in the insertions closer to the base of the specimen.

KEYWORDS: Reinforcement, Geosynthetics, CBR tests.

1 Introdução

O dimensionamento e construção dos pavimentos tem como principais objetivos proporcionar aos usuários condições adequadas de conforto ao rolamento e segurança. Sendo assim, o desafio de um projeto de pavimento consiste no fato de conceber uma obra de engenharia que cumpra as demandas estruturais e funcionais exigíveis (OLIVEIRA et al., 2016)

Oliveira et al. (2016) também destaca a importância da manutenção do estado da superfície do pavimento e da prevenção de danos estruturais. Nesse contexto, a inserção de materiais geossintéticos como reforço de pavimentos flexíveis tem como objetivo aumentar a capacidade de suporte do pavimento e/ou diminuir o comprimento da flecha oriunda dos carregamentos dinâmicos.

Segundo Holtz et. al (1998), há uma lista extensa de motivações para o uso de geossintéticos em pavimentação. No caso de utilização de geossintéticos para reforço, são observadas redução da escavação necessária para a remoção de material inadequado, promovendo a redução de transporte e bota-fora; redução da espessura da base, simplificando processos de disposição e compactação do material; redução de recalques diferenciais, principalmente em contato entre corte e aterro e um aumento da serventia do pavimento e redução dos custos de reparo.

Correia et. al (2016) destacam que os mecanismos responsáveis pelo ganho de resistência ao se introduzir o reforço de geossintético num maciço de solo são o efeito do confinamento, melhoria da capacidade de carga e efeito membrana. Com relação ao efeito do confinamento, a introdução do geossintético promove uma restrição lateral do deslocamento dos agregados. A melhoria na capacidade de carga, por sua vez, se deve à alteração da superfície de ruptura gerada pelo reforço, que promove maior



mobilização do solo e, por conseguinte, a capacidade de suporte para o dado carregamento. E, por último, o efeito membrana, que consiste na deformação do geossintético aos carregamentos perpendiculares ao seu plano de disposição, o que reduz as tensões propagadas para a fundação.

Segundo Palmeiras (1993), o comportamento global de um maciço de solo reforçado com geossintéticos está condicionado às propriedades do solo e do reforço empregado, e da interface solo-geossintético. Oliveira et al. (2016) destacam a importância da granulometria do solo considerado para a mobilização do reforço.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento mecânico de solos reforçados para pavimentação por meio da avaliação da capacidade de suporte do maciço de solo, por ensaios CBR (California Bearing Ratio), para um solo da região, assim como o efeito do posicionamento do elemento de reforço ao longo da camada compactada.

2 Materiais e Métodos

2.1 Materiais

O solo utilizado no estudo foi caracterizado por Furieri (2019), sendo caracterizado como um solo A-7-6 pela classificação TRB (Transportation Research Board), e como CL (argila de baixa plasticidade) pela classificação USCS (Unified Soil Classification System).

Para complementar a caracterização do solo foram realizados ensaios de compactação para se determinar a umidade ótima e massa específica seca máxima nas condições de energia normal de compactação conforme a Norma Brasileira NBR-7182/84. As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados dos ensaios de caracterização e de compactação desse solo.

Como material geossintético, empregou-se um geotêxtil não tecido de PET 300g/m², com resistência à tração em faixa larga de 15,2 kN/m e 16,5 kN/m, respectivos às direções longitudinal e transversal.

Tabela 1- Resultado dos ensaios de caracterização (Furieri, 2019).

Síntese dos Resultados		Solo utilizado
ρ_s (g/cm ³)		2,65
% passante na peneira #200		60
Limites de Consistência (%)	LL	49
	LP	24,8
	IP	24,2
Classificação Unificada		CL
Classificação HRB		A-7-6

Tabela 2 - Parâmetros de compactação. - Energia de Proctor Normal.

Parâmetros	Energia Normal	Energia Intermediária
$\rho_{dmáx}$ (g/cm ³)	1,686	1,750
$W_{ótm}$ (%)	20,1	17

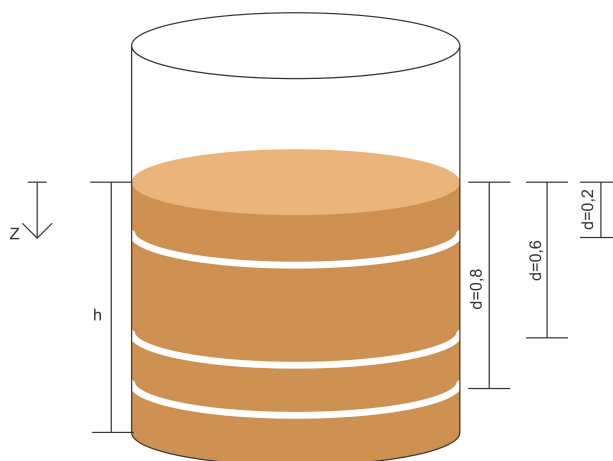
2.2 Ensaios CBR

Após a caracterização física e das condições de compactação da amostra, foram realizados os ensaios CBR (California Bearing Ratio), seguindo os procedimentos da NBR - 9895/87. Foram compactados a energia normal sete corpos de prova sem reforço e quinze corpos de prova com a inserção do geossintético geotêxtil não tecido PET 300g/m².



Para avaliar a influência da posição de inserção da camada de reforço no ganho de resistência, determinou-se a profundidade de inserção do geotêxtil como um fator adimensional denominado fator de profundidade (d), resultado da razão entre a profundidade de inserção da camada (z), tendo o topo do corpo de prova (face onde é aplicada a carga no ensaio de CBR) como origem, e a altura total do corpo de prova (h). A camada de reforço posicionada entre primeira e segunda camada, terceira e quarta camada e quarta e quinta camadas de compactação representam valores de fator de profundidade iguais a 0,2, 0,6 e 0,8, respectivamente. A Figura 1 esquematiza as posições de inserção do geotêxtil.

Figura 1- Esquema representativo das profundidades de inserção da camada de reforço.



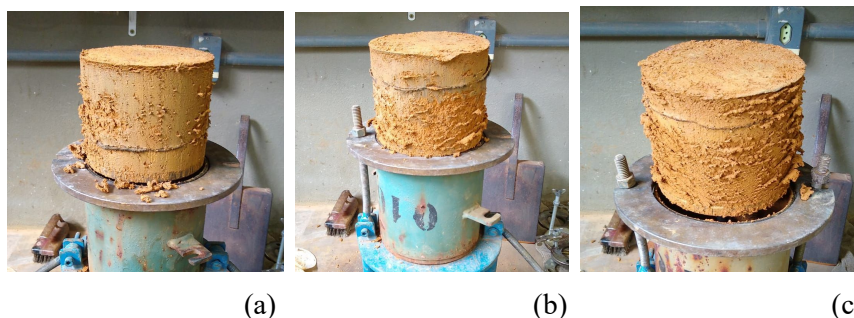
Durante todos os processos de compactação, foi realizado o controle de umidade e do grau de compactação a fim de se verificar se a compactação foi realizada com a umidade ótima e se o corpo de prova atingiu a massa específica seca máxima. Corpos de prova com desvios muito altos de umidade ou grau de compactação muito pequenos foram descartados do estudo.

Após a compactação, os corpos de prova foram imersos em água com a sobrecarga durante 96 horas, de tal forma que a água banhasse o material tanto pelo topo quanto pela base. Durante este período foram realizadas leituras de deformação (expansão ou recalque) com aproximação de 0,01 mm a cada 24 horas.

Após o tempo de submersão e a última medição da expansibilidade, o conjunto foi retirado do tanque e instalado na prensa e o corpo de prova foi rompido aplicando-se carregamento com velocidade de 1,27 mm/min.. Com os valores obtidos ao longo do ensaio, traçou-se o gráfico pressão versus penetração, quando necessário o gráfico foi corrigido. A partir do gráfico obtém-se as cargas associadas às penetrações de 2,5 e 5,0 mm. O resultado adotado para o ISC foi o maior dos dois valores encontrados correspondentes às penetrações de 2,5 e 5,0 mm.

A Figura 2 ilustra os corpos de prova após realização do ensaio CBR, onde podem ser vistos os geotêxteis em diferentes pontos de inserção.

Figura 2- Exemplos de corpos de prova retirados do cilindro após ensaio CBR: (a) razão de profundidade 0,2, (b) razão de profundidade 0,6, e (c) razão de profundidade 0,8.





3 Resultados e Discussões

Os resultados dos valores do CBR para diferentes configurações de ensaio estão expressos na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de CBR: solo sem reforço.

Profundidade de inserção do GT	Corpo de prova	w (%)	Desvio padrão (w)	CBR [%]	CBR médio [%]	Desvio padrão (CBR)
Sem GT	1	19,88	1,12	7,73	11,11	4,78
	2	19,63	1,37	14,49		
0,2	1	20,38	0,62	14,49	11,81	3,68
	2	19,65	1,35	7,61		
	3	20,04	0,96	13,33		
0,6	1	19,79	1,21	10,14	12,49	2,77
	2	19,12	1,88	11,59		
	3	19,18	1,82	10,63		
	4	19,80	1,20	17,03		
	5	19,85	1,15	13,04		
0,8	1	19,02	1,98	10,87	14,01	2,74
	2	20,38	0,62	15,94		
	3	20,45	0,55	15,22		

Na Tabela 4 são apresentadas as médias de CBR para cada posição do geotêxtil. O parâmetro analisado foi o aumento de CBR (ΔCBR), calculado pela Equação 1. O Gráfico 1 ilustra este comparativo.

$$\Delta CBR = [(CBR_R / CBR_{SR}) - 1] \times 100 \% \quad (1)$$

Sendo:

CBR_R : Média dos resultados de CBR do corpo de prova com reforço

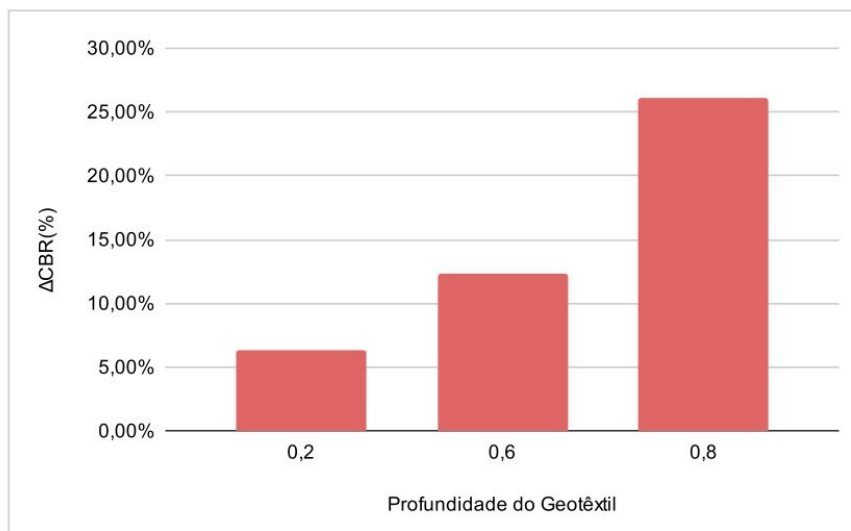
CBR_{SR} : Média dos resultados de CBR dos corpos de prova sem reforço

Tabela 4 – Médias dos valores de CBR e o ganho de CBR em relação à média de CBR dos corpos de prova sem geotêxtil para cada profundidade de inserção do geotêxtil

Profundidade do Geotêxtil	CBR médio [%]	ΔCBR [%]
Sem Geotêxtil	11,11	-
0,2	11,81	6,30
0,6	12,49	12,39
0,8	14,01	26,10



Gráfico 1. Comparativo de ganho de resistência CBR em relação a média de CBR dos corpos de prova sem geotêxtil.



De acordo com a classificação TRB, o solo analisado, designado como A-7-6, não é indicado para aplicação em pavimentos rodoviários. Os resultados dos ensaios de CBR comprovam esse comportamento. Para as amostras de solo sem reforço foram encontrados baixos valores de CBR, menores do que os valores mínimos de 20% e 80%, indicados para utilização como sub-base e base, respectivamente.

Tais resultados corroboram com os resultados apresentados por Furieri (2019), os quais encontraram valores de CBR muito próximos desse limite utilizando energia intermediária de compactação.

Com a introdução do geotêxtil, verificou-se um pequeno aumento nos valores de CBR para o solo estudado. O maior aumento foi verificado para a inserção do geotêxtil na razão de profundidade de 0,8. Entretanto, mesmo com a introdução do reforço, nenhuma configuração confere aplicabilidade do solo para sub-base e base. Dessa forma, para o solo analisado e para energia de compactação utilizada, não foram verificados aumentos de resistência significativos na capacidade de suporte com a introdução de geotêxteis não tecidos como elemento de reforço.

Por outro lado, os resultados dos ensaios indicam que esse ganho de resistência pode ser mais expressivo quanto maior a profundidade da camada de inserção do geotêxtil. Para a condição do geotêxtil inserido entre a quarta e quinta camada, observou-se um aumento de aproximadamente 25% nos valores de CBR. Enquanto a condição do geotêxtil inserido entre a primeira e segunda camada, obteve-se o menor aumento de resistência.

Considerando os mecanismos responsáveis pelo aumento de resistência em solos reforçados com geotêxteis, é esperado que a melhoria na capacidade de carga seja um dos mecanismos atuantes diante da variação da profundidade do geotêxtil. Ao posicionar o geotêxtil numa camada mais superficial, isto é, mais próxima do ponto de aplicação da carga, exista uma elevação no plano de ruptura e por consequência um aumento na capacidade de suporte do solo. Por outro lado, para que haja o efeito membrana é necessário que antes haja deformação vertical do solo. Sendo assim, espera-se que a posição de inserção da camada de reforço que promove maior ganho de resistência não seja nem muito superficial, por conta da necessidade de massa de solo acima do reforço para que haja resistência friccional na interface solo-reforço e ocorra o efeito do confinamento, nem muito profunda, devido ao efeito da elevação da potencial superfície de ruptura resultado do mecanismo de melhoria na capacidade de carga (CORREIA ET AL, 2016).

Desta forma, os resultados dos ensaios mostraram os maiores aumentos de resistência para as configurações com a inserção dos geotêxteis mais próximos da base, o que corrobora e sugere a atuação do mecanismo do efeito membrana para solos reforçados com geossintético para as configurações de ensaios utilizados nesta pesquisa.



Considerando o efeito escala, seriam necessários ensaios com corpo de prova com maiores dimensões para verificar o efeito combinado dos mecanismos de melhoria de capacidade de carga e do efeito membrana.

Acrescenta-se a necessidade de investigação da posição do reforço com outros tipos de solos, visto que o comportamento depende da interação solo – estrutura.

3 Considerações Finais

De acordo com os resultados dessa análise experimental, verificou-se o solo utilizado não é adequado para utilização como sub-base e base de pavimentos flexíveis. Os resultados dos ensaios mecânicos mostraram um pequeno aumento nos valores de CBR para o solo estudado e para a energia de compactação empregada com a introdução do geotêxtil. Com relação à posição do geotêxtil e para o solo analisado, verificou-se maiores valores de aumento de resistência para a razão de profundidade de 0,8.

Adicionalmente, verificou-se que mesmo com a introdução do reforço, os valores de CBR encontrados para todas as variações da posição do geotêxtil se encontraram abaixo dos valores mínimos exigidos para camadas de pavimentos flexível.

Desta forma, os resultados encontrados evidenciam a influencia do tipo de solo (interação solo – estrutura) e a posição de inserção do geotêxtil na resposta mecânica de solos reforçados, sendo necessários outros estudos variando-se o tipo de solo e o tipo de ensaio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação*. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
- _____. *NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- CORREIA, N. S.; AVESANI NETO, J. O. Aspectos gerais do uso de geossintéticos em reforço de pavimentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 18., 2016, Belo Horizonte. *Anais [...]*. Belo Horizonte: 2016
- HOLTZ, R.; CHRISTOPHER, B.; BERG, R. *Geosynthetic Design and Construction Guidelines*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington DC, 1995
- FURIERI, E. C. *Avaliação em Laboratório e em Campo por meio de Simulador Linear de Tráfego Móvel de Solos Estabilizados com Coproduto KR, Cimento Portland e Blindasolo®*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.
- OLIVEIRA, L. V. C.; CARMO, A. K. F.; FONTES, G. A. A.; SOL, R. R. S.; PITANGA, H. N.; SILVA, T. O. Resistência à Compressão Simples de Solos Residuais Compactados Reforçados com Geossintético. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 18., 2016, Belo Horizonte. *Anais [...]*. Belo Horizonte: 2016
- PALMEIRA, E. M. *Curso de Estabilização e Reforço de Solos: Introdução a Utilização de Geossintéticos*. Brasília: Publicação G. AP-002B/93. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, 1993. 60 p.