

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NA INTERFACE ENTRE GEOTÊXTEIS E SOLOS RESIDUAIS TROPICAIS POR MEIO DE ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO CONVENCIONAIS

Data de aceite: 02/05/2024

Marcela Giacometti de Avelar

RESUMO: Esta pesquisa teve como finalidade examinar a dinâmica entre solos tropicais compactados e a integração de materiais geossintéticos. Para a realização do estudo, selecionaram-se amostras de solos provenientes de perfis de gnaiss e anfíbolitos, destacando-se na microrregião de Viçosa, na Zona da Mata de Minas Gerais. Estes foram categorizados, seguindo a classificação MCT, como solo VS, de natureza não laterítica arenosa (NA'), e solo BR, de caráter laterítico argiloso (LG'). No desenvolvimento dos conjuntos solo-reforço, utilizaram-se dois tipos de geotêxteis tecidos biaxiais de polipropileno (T55 e T25), além de um geotêxtil não tecido agulhado de poliéster (NT10). A abordagem metodológica englobou ensaios de cisalhamento direto, aplicados em amostras compactadas sob as energias definidas pelos Proctor Normal e Modificado, tanto nas configurações sem inclusões geossintéticas (para referência) quanto nas configurações que incluíam os geotêxteis. Foi dada especial atenção aos parâmetros de resistência ao cisalhamento

das interfaces, considerando-se a rigidez dos geossintéticos, a tipologia dos solos e o nível de energia de compactação. Os resultados mais notáveis indicaram que: i) os ângulos de atrito nas interfaces (δ) foram tipicamente inferiores aos dos solos compactados isoladamente (ϕ); ii) a presença de geotêxteis aumentou a ductilidade dos conjuntos solo-reforço; iii) o desempenho do reforço esteve vinculado à sua rigidez à tração; iv) a resistência ao cisalhamento das interfaces foi levemente reduzida nos solos arenosos.

PALAVRAS-CHAVE: Geotêxteis, Solos tropicais, cisalhamento de interface, resistência ao cisalhamento, compactação

ABSTRACT: This research aimed to examine the dynamics between compacted tropical soils and the integration of geosynthetic materials. For the study, soil samples from gneiss and amphibolite profiles were selected, standing out in the microregion of Viçosa, in the Zona da Mata of Minas Gerais. These were categorized, following the MCT classification, as VS soil, of non-lateritic sandy nature (NA'), and BR soil, of lateritic clayey character (LG'). In developing the soil-reinforcement sets, two types of biaxial woven polypropylene

geotextiles (T55 and T25), as well as a needle-punched non-woven polyester geotextile (NT10), were used. The methodological approach included direct shear tests, applied to compacted samples under the energies defined by the Standard and Modified Proctor, both in configurations without geosynthetic inclusions (for reference) and in configurations that included the geotextiles. Special attention was given to the shear strength parameters of the interfaces, considering the stiffness of the geosynthetics, the typology of the soils, and the level of compaction energy. The most notable results indicated that: i) the interface friction angles (δ) were typically lower than those of the compacted soils alone (ϕ); ii) the presence of geotextiles increased the ductility of the soil-reinforcement sets; iii) the performance of the reinforcement was linked to its tensile stiffness; iv) the shear strength of the interfaces was slightly reduced in sandy soils.

KEYWORDS: Geotextiles,, Tropical soils, Interface shear, Shear strength, Compaction

INTRODUÇÃO

A implementação de geossintéticos para o reforço de solos representa uma prática amplamente aceita na engenharia geotécnica, conforme evidenciado por VIANA e PALMEIRA (2009). Essa técnica tem sido aplicada em uma diversidade de projetos geotécnicos, incluindo, mas não limitado a, muros de arrimo (PORTELINHA et al., 2013), estruturas de proteção costeira (HORNSEY et al., 2011), aterros compactados (ARIYARATHNE et al., 2013), estabilização de taludes (HUANG, 2013), melhoramento de fundações em solos pouco resistentes (BIWAS et al., 2013), aterros sanitários e locais para depósito de resíduos (SANTOS et al., 2014), reforço de colunas granulares (HOSSEINPOUR et al., 2015) e em infraestrutura rodoviária (ASHA; MADHAVI, 2010).

O princípio do reforço baseia-se na sinergia entre as propriedades mecânicas do solo, que apresenta boa resistência à compressão e ao cisalhamento, e a capacidade dos geossintéticos de suportar eficazmente as tensões de tração. Esta integração visa aprimorar a capacidade de carga, reduzir a susceptibilidade à deformação e elevar a estabilidade geral do terreno (BUENO et al., 2005).

O comportamento mecânico de uma estrutura de solo reforçado depende essencialmente das características dos materiais envolvidos e da interação entre eles. Nos solos residuais tropicais, dadas suas particularidades de formação geológica, propriedades tais como granulometria, morfologia e composição químico-mineralógica das partículas, além da densidade compactada e grau de saturação, podem ser aspectos de maior ou menor grau de influência na resistência ao cisalhamento de interfaces solo-reforço (AVELAR, 2020).

Os geotêxteis são, dentro da grande família dos geossintéticos, os materiais com maior campo de atuação, possuindo uma vasta gama de aplicações em toda a engenharia civil, não somente na geotécnica, como também em outras áreas, como ambiental, hidráulica e de pavimentação (BENJAMIM et al., 2007; KOERNER, 2012; VERTEMATTI,

2015). Como reforço em obras de terra, a popularidade dos geotêxteis decorre da sua menor rigidez quando comparados a outros materiais usados como reforço, tornando-os compatíveis com vários tipos de solos em termos de deformabilidade, do aumento da resistência ao cisalhamento, da maior ductilidade proporcionada ao sistema solo-reforço e da sua maior capacidade de drenagem tanto através do plano quanto ao longo do mesmo (GRAY; OHASHI, 1983; TATSUOKA; YAMAUCHI, 1986; HAERI et al., 2000; ELIAS et al., 2001; PALMEIRA, 2009; TUNA; ALTUN, 2012).

Neste contexto, o capítulo tem como objetivo principal caracterizar os mecanismos de interação solo-reforço geossintético considerando-se as particularidades granulométricas de solos tropicais compactados e as propriedades dos geossintéticos de reforço. Para isso, foi realizado um amplo trabalho experimental de investigação da interação entre solos de comportamentos geotécnicos distintos e geotêxteis tecidos e não tecido, por meio de ensaios de cisalhamento direto, em um equipamento convencional (pequeno porte).

METODOLOGIA

Solos empregados

Os solos considerados neste estudo fazem parte de perfis desenvolvidos de gnaiss e anfibólitos, correspondendo a duas ocorrências de maior relevância na microrregião de Viçosa, município de Minas Gerais, sendo identificados como solo VS e solo BR.

A amostra do solo VS foi coletada no horizonte C de um talude localizado dentro do campus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa (UFV), nas proximidades da Vila Secundino, com coordenadas geográficas de Latitude 20°45'47.82" S e Longitude 42°51'29.76" O (Figura 1). Trata-se de um solo residual jovem (saprolítico), de coloração acinzentada, sendo classificado pedologicamente como Argissolo Câmbico e texturalmente como areia fina siltosa com um pouco de argila [NBR 6502 (ABNT, 1995)]. Nos sistemas tradicionais de classificações rodoviárias, o solo VS se enquadrou nos grupos A-4 (4), de acordo com o *Transportation Research Board - TRB* [M 145 - 91 (AASHTO, 2008)], e ML, conforme o Sistema Unificado de Classificação dos Solos - SUCS [D 2487 - 11 (ASTM, 2011a)]. De acordo com a metodologia MCT [CLA 259 (DNER, 1996), ME 258 (DNER, 1994a) e ME 256 (DNER, 1994b)], foi identificado como um solo não laterítico arenoso (NA').



Figura 1 - Localização do talude selecionado para a coleta de amostras do solo VS

Fonte: Google Earth, 2020

A amostra do solo BR foi extraída do horizonte B de um talude de corte localizado à margem da Rodovia BR 120 (km 640), com coordenadas geográficas de Latitude $20^{\circ}47'31.74''$ S e Longitude $42^{\circ}50'17.96''$ W (Figura 2). Trata-se de um solo classificado pedologicamente como um Latossolo VermelhoAmarelo – LV (REIS; AZEVEDO, 1998, 1999; AZEVEDO, 1999; REIS, 2004). De acordo com os sistemas classificatórios da NBR 6502 (ABNT, 1995), TRB (AASHTO, 2008) e SUCS (ASTM, 2011a), o solo BR foi identificado como um silte argilo-arenoso, pertencente aos grupos A-7-5 (20) e MH, respectivamente. Na classificação MCT, por sua vez, enquadrou-se no grupo dos solos de comportamento Laterítico Argiloso (LG'), conforme as recomendações das normas CLA 259 (DNER, 1996), com leituras complementares aos métodos de ensaio ME 258 (DNER, 1994a) e ME 256 (DNER, 1994b).

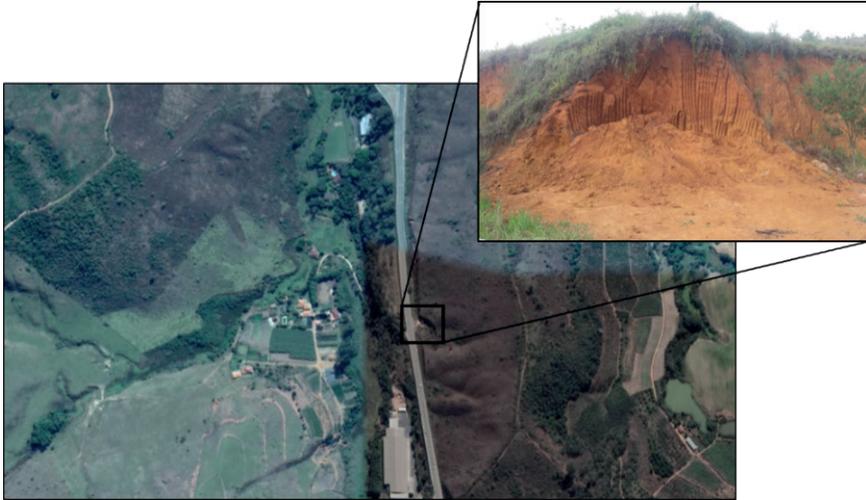


Figura 2 - Localização do talude selecionado para a coleta de amostras do solo BR

Fonte: Google Earth, 2020

Geossintéticos

Para a avaliação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento das interfaces solos-geossintéticos foram utilizados dois geotêxteis tecidos biaxiais constituídos de laminetes de polipropileno (Figura 3), sendo referenciados neste estudo por meio das siglas T55 e T25, e um geotêxtil não tecido agulhado (Figura 3c) de poliéster, representado pela sigla NT10. As principais propriedades desses materiais são apresentadas na Tabela 1.



(a) Geotêxtil tecido (T55)

(b) Geotêxtil tecido (T25)

(c) Geotêxtil não tecido agulhado (NT10)

Figura 3 - Geotêxteis empregados na pesquisa (aumento 10x)

Fonte: A autora.

Propriedades		T55	T25	NT10
Espessura nominal (e), mm*				
0,93			0,66	1,99
Massa por unidade de área, g/m ² *		244	117	210
Resistência à tração nominal, kN/m**	D. longitudinal	55	25	10
	D. transversal	55	25	9
Deformação na resistência nominal, %**	D. longitudinal	≤ 15	≤ 15	> 50
	D. transversal	≤ 15	≤ 15	> 50
Abertura aparente dos poros, O ₉₀ , mm**		0,20	0,25	0,13

* Ensaios realizados no Laboratório de Geossintéticos da Escola de Engenharia de São Carlos/ EESC-USP;

**Dados fornecidos pelos fabricantes.

Tabela 1. Propriedades dos geotêxteis empregados na pesquisa

Fonte: A autora.

Ensaio de cisalhamento direto de interface

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados em um equipamento com capacidade de 500kgf e sensibilidade de 0,001mm. Todo o procedimento de ensaio para os solos puros (sem geotêxteis) e das interfaces solos-geotêxteis foi conduzido de acordo com a norma D3080 (ASTM, 2011b).

Com o intuito de obter as amostras a serem ensaiadas, os solos foram compactados nas energias correspondentes ao Proctor Normal e Modificado (ABNT, 2016) no cilindro grande (molde CBR), com teores de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo determinados no ensaio de compactação. Subsequentemente, os corpos de prova (CPs) foram moldados em um anel de 100 mm x 100 mm x 20 mm, a partir dos cilindros compactados, como ilustra a Figura 4.

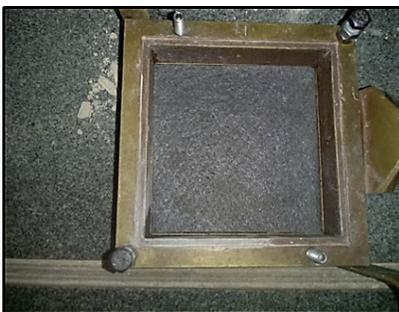


Figura 4 - Moldagem do corpo de prova para o ensaio de cisalhamento direto.

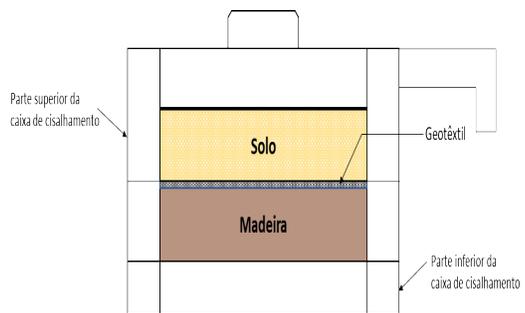
Fonte: A autora

Para os solos puros (sem geotêxteis), a montagem da caixa de cisalhamento e a execução do ensaio seguiram os procedimentos padrões. Na análise do cisalhamento de interfaces, o material geossintético foi cortado aproximadamente nas dimensões da caixa de cisalhamento e instalado sobre um bloco de madeira. Nas laterais da face do bloco, espalhou-se uma resina acrílica à base de cianoacrilato, de secagem rápida, cuidando-se para que o geotêxtil fosse fixado apenas nas extremidades, com intuito de minimizar quaisquer efeitos do adesivo na resistência ao cisalhamento do sistema e seguindo as recomendações do trabalho de Tupa (1994).

Na sequência, inseriu-se o conjunto (bloco + geotêxtil) na metade inferior da caixa do aparato, de modo que o geotêxtil ficasse no limite do plano de cisalhamento (Figura 5a). Após a colocação do conjunto, a parte superior do equipamento foi preenchida com o CP de solo compactado (Figura 5b).



(a)



(b)

Figura 5 - Preparação das interfaces de solos e geotêxteis empregados na pesquisa: (a) inserção do bloco de madeira com o geotêxtil fixado; (b) esquema ilustrativo da montagem da caixa de cisalhamento direto.

Fonte: A autora.

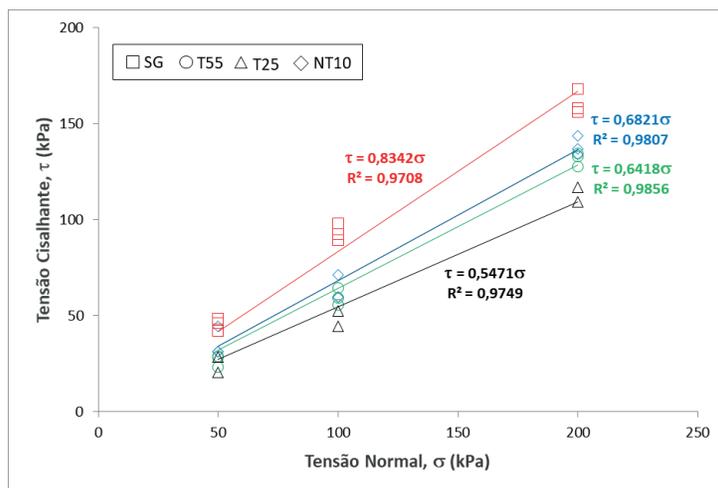
Os procedimentos foram realizados em condições drenadas, com consolidação no período mínimo de 30 minutos, dependendo da tensão normal aplicada e dos tempos necessários à estabilização dos deslocamentos verticais. As tensões normais utilizadas foram de 50, 100 e 200kPa, sendo realizadas no mínimo duas repetições de ensaio para cada uma delas. O deslocamento horizontal máximo medido foi de 19mm (deslocamento máximo do equipamento). Antes do início do carregamento, o sistema foi inundado com tempos de duração distintos para cada tipo de solo, a fim de se garantir que os valores de adesão e ângulo de atrito fossem tomados em termos de tensões efetivas. A velocidade de cisalhamento foi de 0,75mm/min.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

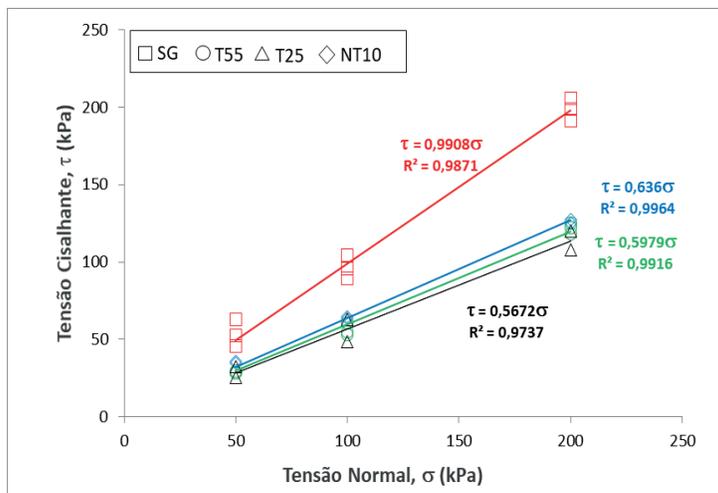
Parâmetros de resistência das interfaces solos-geotêxteis

Na Figura 6 são apresentadas as respectivas envoltórias de ruptura correspondentes ao solo VS e às interfaces entre o solo VS e os geotêxteis não tecido (NT10) e tecidos (T55 e T25), para as energias do Proctor Normal e Modificado empregadas na compactação do solo.

A Tabela 2 apresenta os respectivos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo VS [coesão (c), ângulo de atrito (f)] e das interfaces solo VS-geotêxtil [adesão (a), ângulo de atrito (d)].



(a)



(b)

Figura 6 - Envoltórias de ruptura das interfaces solo BR-geotêxteis: (a) energia normal; (b) energia modificada.

Fonte: A autora.

Energia normal					
Interfaces	ϕ (°)	δ (°)	c (kPa)	a (kPa)	R^2
Solo VS	40	-	0	-	0,9708
Solo VS x T55	-	33	-	0	0,9856
Solo VS x T25	-	29	-	0	0,9749
Solo VS x NT10	-	34	-	0	0,9807
Energia Modificada					
Interfaces	ϕ (°)	δ (°)	c (kPa)	a (kPa)	R^2
Solo VS	45	-	0	-	0,9871
Solo VS x T55	-	31	-	0	0,9916
Solo VS x T25	-	30	-	0	0,9737
Solo VS x NT10	-	32	-	0	0,9964

Tabela 2. Parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo VS e interfaces solo VS-geotêxteis: energia do Proctor Normal e Modificado.

Fonte: A autora.

Observa-se que os ângulos de atrito do Solo VS (energias Normal e Modificada) foram maiores que os ângulos de atrito das interfaces Solo VS-geotêxteis, sendo que os melhores resultados foram obtidos para as interfaces compostas pelo geotêxtil não tecido (NT10), quando comparadas às demais.

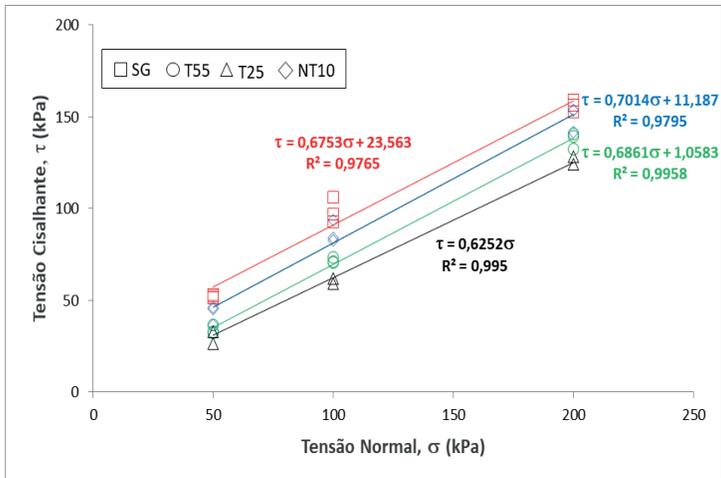
Palmeira (1987) e Tupa (1994), com base em uma extensa coletânea de dados de diversas pesquisas na área, destacaram que, em grande parte dos casos em que se têm sistemas do tipo solos arenosos-geotêxteis tecidos/não tecidos, os resultados dos ângulos de atrito de interfaces apontam para as relações $0,75\phi < \delta < \phi$ (PALMEIRA, 1987) e $\delta \geq 0,8\phi$ (TUPA, 1994). Nota-se então que, com exceção da interface Solo VS - T25, todas as amostras compactadas na energia Normal seguiram estas relações, ao passo que, nas interfaces cujas amostras do solo foram compactadas na energia Modificada, o mesmo não ocorreu.

Na Figura 7 são apresentadas as respectivas envoltórias de ruptura correspondentes ao solo BR e às interfaces entre o solo BR e os geotêxteis não tecido (NT10) e tecidos (T55 e T25), para as energias do Proctor Normal e Modificado empregadas na compactação do solo.

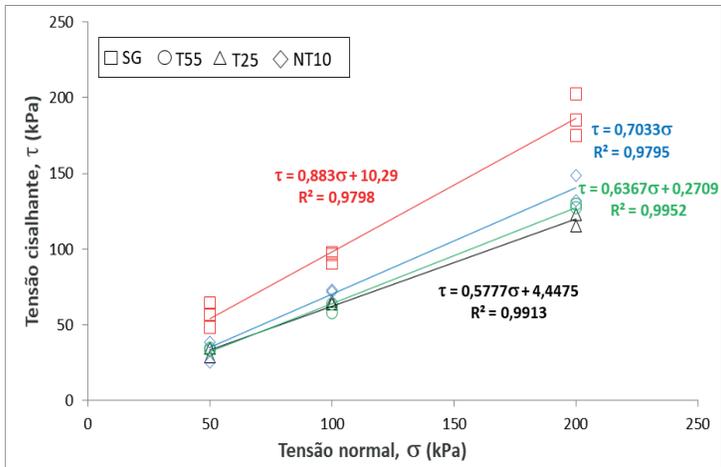
A Tabela 3 apresenta os respectivos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo BR [coesão (c), ângulo de atrito (f)] e das interfaces solo BR-geotêxtil [adesão (a), ângulo de atrito (d)].

Nas interfaces com o Solo BR, com as amostras compactadas na energia Normal, os ângulos de atrito foram ligeiramente maiores para as interfaces Solo BR-T55 e Solo BR-NT10, com uma certa adesão ao geotêxtil. As interfaces desse solo compactadas na energia Modificada exibiram ângulos de atrito menores que a do solo puro e reduzidos valores de adesão, sendo a interface com a inclusão do geotêxtil não tecido (NT10) aquela que apresentou os melhores resultados em relação às demais interfaces

Para os sistemas constituídos de solos coesivos, tal como o solo BR, e geotêxteis tecidos/não tecidos, a literatura descreve que, para as interfaces ensaiadas sob condições drenadas, na maioria dos casos, os ângulos de atrito das interfaces seguem a relação $\delta \geq 2/3\phi$ (TUPA, 1994). Sendo assim, todos os ângulos de atrito das interfaces nas amostras do solo BR, compactadas nas energias do Proctor Normal e Modificado, e os geotêxteis empregados neste estudo se apresentaram coerentes com esta relação.



(a)



(b)

Figura 7 -Envoltórias de ruptura das interfaces solo BR-geotêxteis: (a) energia normal; (b) energia modificada.

Fonte: A autora.

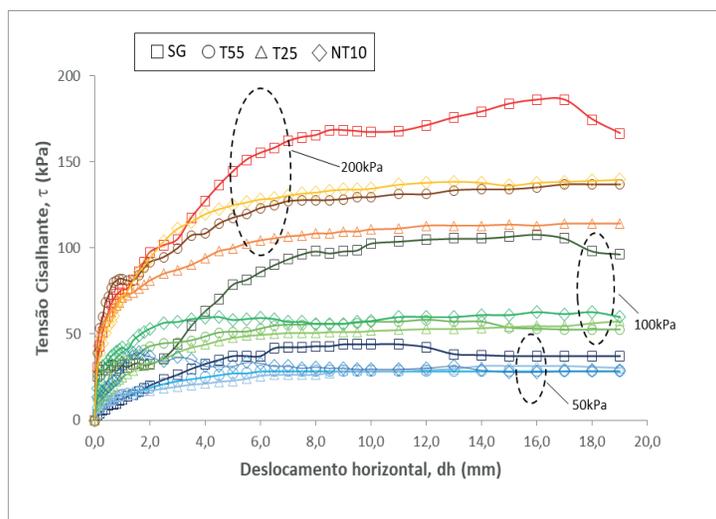
Energia normal					
Interfaces	ϕ (°)	δ (°)	c (kPa)	a (kPa)	R ²
Solo BR	34	-	24	-	0,9765
Solo BR x T55	-	34	-	1,06	0,9958
Solo BR x T25	-	32	-	0	0,995
Solo BR x NT10	-	35	-	11,19	0,9795
Energia Modificada					
Interfaces	ϕ (°)	δ (°)	c (kPa)	a (kPa)	R ²
Solo BR	41	-	10,29	-	0,9798
Solo BR x T55	-	32	-	0,27	0,9952
Solo BR x T25	-	30	-	4,45	0,9913
Solo BR x NT10	-	35	-	0	0,9795

Tabela 3 - Parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo BR e interfaces solo BR-geotêxteis: energia do Proctor Normal e Modificado.

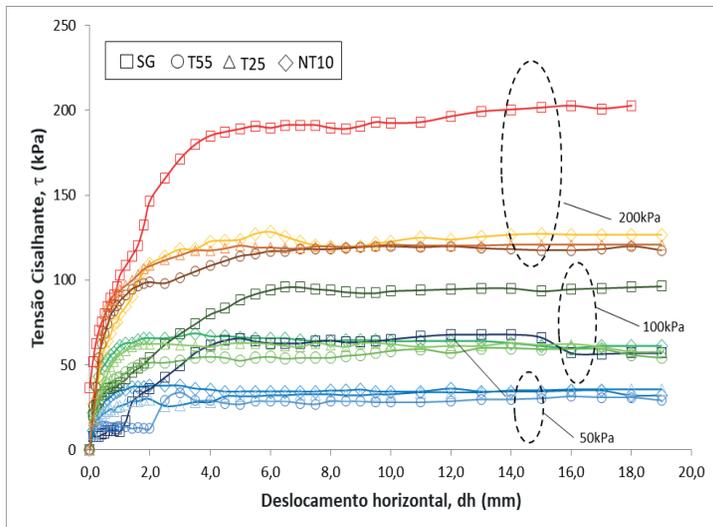
Fonte: A autora.

Curvas tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal

Nas Figuras 8 e 9 são apresentadas, para fins ilustrativos, curvas representativas da relação tensão cisalhante (t) *versus* deslocamento horizontal (dh) derivadas de um ensaio completo de cisalhamento direto de interfaces solos-geotêxteis para cada tipo de solo e energia de compactação aplicada.

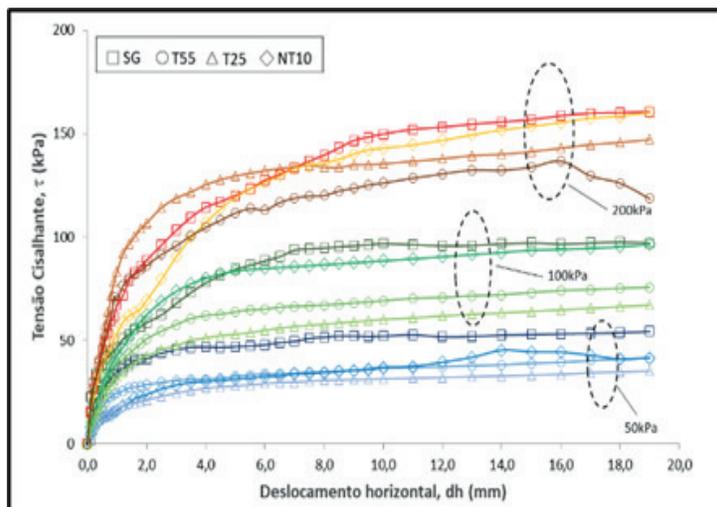


(a)

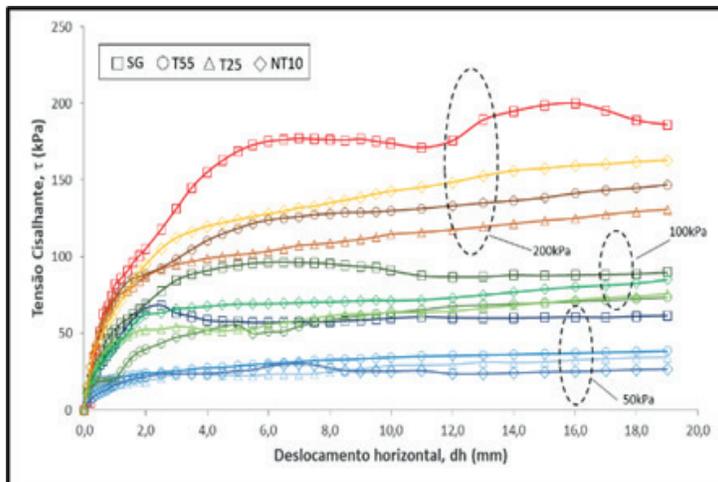


(b) Figura 8 - Curvas tensão cisalhante versus deslocamento horizontal das interfaces Solo VS-geotêxteis: (a) energia normal; (b) energia modificada.

Fonte: A autora.



(a)



(b)

Figura 9 - Curvas tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal das interfaces Solo BR-geotêxteis: (a) energia normal; (b) energia modificada.

Fonte: A autora.

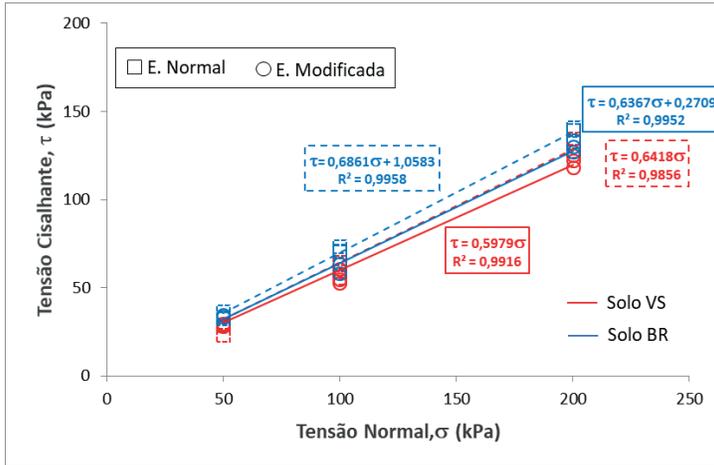
As curvas tensão cisalhante-deslocamento horizontal ilustradas mostram que ocorre uma mudança sensível da rigidez dos solos com as inclusões geossintéticas, conferindo aos mesmos a característica de maior ductilidade. Observa-se também nessas curvas que as interfaces solos-geotêxtil não tecido (NT10) apresentaram tensões cisalhantes máximas e deslocamentos horizontais de ruptura superiores às interfaces solos-geotêxteis tecidos (T55 e T25). Nota-se que, independentemente do tipo de solo empregado e das energias de compactação aplicadas nas amostras do solo, os sistemas com a inclusão não tecida apresentaram uma tendência a deslocamentos horizontais de ruptura similares ou superiores aos dos solos e das interfaces solos-geotêxteis tecidos.

Identifica-se também que, em alguns casos, quanto maior a tensão normal do ensaio, maior é o deslocamento horizontal para a tensão de cisalhamento máxima das interfaces solos-reforços, sendo, contudo, sempre maiores nas interfaces com geotêxtil não tecido. A partir desses resultados, entende-se que a magnitude dos deslocamentos horizontais de ruptura apresenta uma relação direta com a tensão normal aplicada e com a rigidez à tração dos geotêxteis.

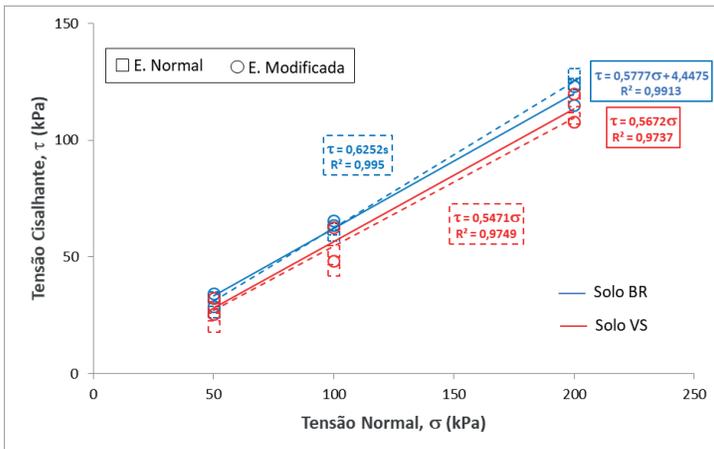
Na prática, a ação do confinamento tende a restringir a movimentação das fibras têxteis, evitando o alinhamento das mesmas na direção da aplicação do esforço, sendo que esta limitação é tanto maior quanto mais rígido é o elemento de reforço. De outra forma, a influência da rigidez do reforço se manifesta na magnitude dos deslocamentos horizontais de ruptura, de maneira que, quanto mais rígido é o reforço, menor é o deslocamento que ele precisa sofrer para atingir a tensão de cisalhamento máxima na interface (KABIR, 1984; ADIB et al., 1990; GOMES, 1993; ROWE; HO, 1996; JEWELL; WROTH, 1997; MSOUTI et al., 1997; LIMA JUNIOR, 2000).

Efeito do Tipo de Solo

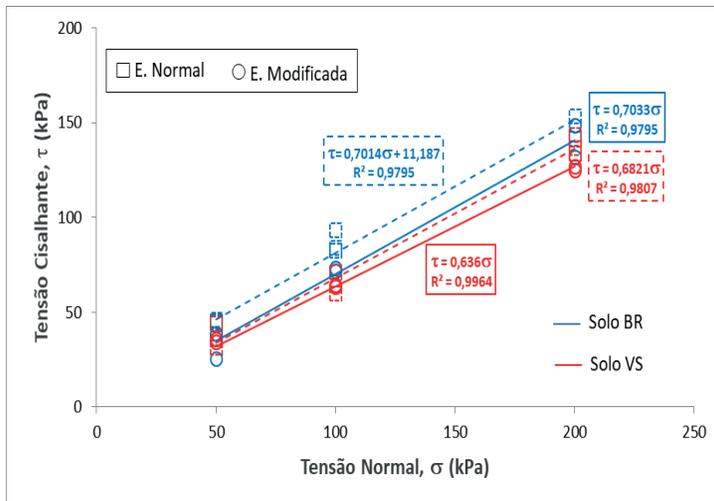
Com o objetivo de verificar, comparativamente, o comportamento mecânico dos solos investigados reforçados por cada um dos geossintéticos empregados nesta pesquisa, apresentam-se, na Figura 10, as respectivas envoltórias de ruptura das interfaces.



(a)



(b)



(c)

Figura 10 - Envolvórias de ruptura das interfaces solos – geotêxteis em função do tipo de solo: (a) interfaces solos – T55; (b) interfaces solos – T25; (c) interfaces solos – NT10.

Fonte: A autora.

Embora ocorra um consenso na literatura de que solos predominantemente arenosos, tal como o solo VS, conduzem a um acréscimo de resistência na interface (COSTA LOPES, 2000), os resultados mostrados não corroboram esta afirmação. De fato, os ângulos de atrito do solo VS puro foram maiores do que os do solo BR puro (Tabelas 3 a 5), no entanto, com a inclusão dos geotêxteis, as resistências ao cisalhamento de interface são ligeiramente menores para o solo VS comparativamente àquelas do solo BR.

Em comparação com as amostras não reforçadas, observa-se que houve uma redução de cerca de 28%, na energia Normal, e de 40%, na energia Modificada, nos ângulos de atrito das interfaces solo VS-T25, ao passo que, para a interface Solo VS-T55, esses decréscimos foram em torno de 18% e 31%, e, para a interface Solo VS-NT10, foram de aproximadamente 14% e 27%, nas respectivas energias de compactação. Logo, é possível inferir que a influência do tamanho das partículas do solo VS é tanto maior quanto mais lisas são as superfícies dos geotêxteis.

Nas interfaces compostas pelo solo BR, compactado na energia do Proctor Normal, tem-se a manutenção dos ângulos de atrito para as interfaces solo-geotêxteis e uma redução nos interceptos adesivos. Por outro lado, nas amostras compactadas na energia do Proctor Modificado, houve uma diminuição deste parâmetro em ordem crescente nas interfaces solo BR-NT10 (15%), solo BR – T55 (22%) e solo BR – T25 (28%), indicando, assim como nas interfaces com o solo VS, a maior sensibilidade dos geotêxteis tecidos à granulometria do solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto desse trabalho, que se debruçou sobre a análise da interação entre solos compactados e geotêxteis utilizados como material de reforço, várias conclusões significativas emergiram, enriquecendo o entendimento acerca do comportamento de tais sistemas sob esforços de cisalhamento. Primeiramente, observou-se que os ângulos de atrito nas interfaces entre o solo e o geotêxtil tendem a ser inferiores aos ângulos de atrito dos solos puros compactados.

Além disso, a pesquisa demonstrou que a incorporação de geotêxteis nos sistemas de solo-reforço conduz a um aumento na ductilidade desses sistemas. Isso é evidenciado pelos maiores deslocamentos horizontais registrados no ponto de ruptura para as interfaces que combinam solo e geotêxteis, em comparação aos solos puros. Tal característica indica que os sistemas reforçados são capazes de suportar maiores deformações antes da falha, um atributo vantajoso para muitas aplicações de engenharia.

A análise também revelou que a eficácia do reforço geotêxtil está fortemente atrelada à sua rigidez à tração. Sistemas reforçados com materiais mais rígidos exigiram deslocamentos de interface menores para mobilizar as tensões de cisalhamento necessárias à ruptura. Esta consideração sublinha a importância da escolha cuidadosa do material de reforço, considerando as necessidades específicas de rigidez de cada projeto.

Por último, quando se comparam os efeitos da inclusão de geotêxteis em solos arenosos *versus* solos argilosos, observa-se que a resistência ao cisalhamento de interface nos solos arenosos se apresenta levemente reduzida em comparação com os solos argilosos. Esse resultado sugere que o tipo de solo desempenha um papel fundamental no desempenho do sistema reforçado, com suas propriedades físicas e mecânicas influenciando diretamente a interação com o material de reforço.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Federal do Espírito Santo - *Campus Nova Venécia* pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS

ADIB, M.; MITCHELL, J.K.; CHRISTOPHER, B. (1990) Finite element modelling of reinforced soil walls and embankments. Design and Performance of Earth retaining structures. **Geotechnical Special Publication**, ASCE, v.25, p.409-423.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. (2008). **M 145 - 91**: Standard Specification for Classification of Soil sand Soil- Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. AASHTO, Washington, D.C., 9p.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. (2011a). **D 2487 - 11**: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). West Conshohocken, PA, ASTM International, 11p.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. (2011b). **D3080 / D3080M-11**: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. West Conshohocken, PA, ASTM International, 7p.

ARIYARATHNE, P.; LIYANAPATHIRANA, D.S.; LEO, C.J. (2013). Effect of geosynthetic creep on reinforced pile-supported embankment systems. **Geosynthetics International**. v.20. n.6. London, England.

ASHA, M.N.; MADHAVI, L.G. (2010) Modified CBR Tests on Geosynthetic Reinforced Soil Aggregate Systems. In: Indian Geotechnical Conference, Mumbai, Índia, 2010. **Proceedings...Mumbai: GEOrendz**, p.1-4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1995). **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro: ABNT, 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT,10p.

AVELAR, M.G. (2020). **Abordagem experimental da interação solo tropical – reforço geossintético sob a perspectiva de aplicação em obras de terra**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pósgraduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

AZEVEDO, M.A.A. **Contribuição ao estudo geotécnico de solos de Viçosa – MG**. (1999). Dissertação (Mestrado em Geotécnica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BENJAMIM, C.V.S.; BUENO, B.S.; ZORNBERG, J.G. (2007). Field monitoring evaluation of geotextilereinforced soli-retaining walls. **Geosynthetics International**, v.14. n.2. p.100-118.

BIWAS, A. KRISHNA, A.M.; DASH, S.K. (2013). Influence of subgrade strength on the performance of geocell-reinforced foundation systems. **Geosynthetics International**. v.20. n.6. London, England.

BUENO, B. S.; BENJAMIM, C.V. S.; ZORNBERG, J. G. (2005). Field Performance of a Full-Scale Retaining Wall Reinforced with Non-Woven Geotextiles. In: **ASCE Geofrontiers**.

COSTA LOPES, C. (2000). Estudo da interação solo geossintético através de ensaios de corte em plano inclinado. Dissertação de Mestrado, FEUP, 194p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1996). **CLA ME 259**: Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura. Rio de Janeiro: DNER.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1994a). **ME 258**: Solos – compactados com equipamentos miniatura-determinação da pedra de massa por imersão. Rio de Janeiro: DNER.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1994b). **ME 256**: Solos – compactados com equipamentos miniatura. Rio de Janeiro: DNER.

ELIAS, V.; CHRISTOPHER, B.R.; BERG, R.R. (2001). **Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design & Construction Guidelines**. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. n. FHWA-NHI-00- 043. 394p.

GOMES, R.C. (1993). **Interação Solo-Reforço e Mecanismo de Ruptura em Solos Reforçados com Geotêxteis**. 1993. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GRAY, D.H.; OHASHI, H. (1983). Mechanics of fibers reinforced in sand. **Journal of Geotechnical Engineering**, v. 109, n. 3, p. 335-353.

HAERI, S.H.; NOORZAD, R.; OSKOOROCHI, A.M. (2000). Effect of geotextile reinforced on the mechanical behavior of sand. **Geotextiles and Geomembres**.v.18. p.385-402.

HORNSEY, W.P.; CARLEY, J.T.; GOGHLAN, I.R.; COX, R.J. (2011). Geotextile sand container shoreline protection systems: Design and application. **Geotextiles and Geomembranes**, Elsevier, n.12.p.255-273.

HOSSEINPOUR, I.; ALMEIDA, M.S.S.; RICCIO, M. (2015). Full- scale load test and finite-element analysis of soft ground improved by geotextile-encased granular columns. **Geosynthetics International**. v.22. n.6. London, England.

HUANG, C.C. (2013). Vertical acceleration response of horizontally excited reinforced walls. **Geosynthetics International**. v.20. n.1. London, England.

JEWELL, R.A.; WHOTH, C.P. (1987). Direct shear tests on reinforced sand. **Geotechnique**. v.37. n. 1.p. 53-68.

KABIR, N. (1984). **In-isolation and in-soil behavior of geotextiles**. 1984.Tese (Doutorado), Université de Strathclyde.

KOERNER, R.M. (2012). **Designing with Geosynthetics**. 6. ed. Drexel: Xlibris, v. 1.

LIMA JUNIOR, N.R. (2000). **Estudo da interação entre solo e geossintético em obras de proteção ambiental com uso do equipamento de Plano Inclinado**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.

MSOUTI, M.F.; BLIVET, J.C.; LEVACHER, D. (1997). **Comportement au flUAGE des géotextiles en renforcement mécanique**. Études et recherches des laboratoires des Ponts et Chaussées, GT n. 63.

PALMEIRA, E. M. (2009). Soil-geosynthetic interaction: modelling and analysis. **Geotextiles and Geomembranes**, Elsevier, v. 2.7 n.5, p.368- 390.

PALMEIRA, E.M. (1987). **The Study of Soil Reinforcement Interaction by Means of LargeScale Laboratory Test**. 1987. P.HD.(Thesis), University Oxford.

PORTELINHA, F.H.M.; BUENO, B.S.; ZORNBERG, J.G. (2013). Performace of nowoven geotextilereinforced walls under wetting conditions: laboratory and field investigations. **Geosynthetics International**. v.20. n.2. London, England.

- REIS, R.M. (2004). **Comportamento tensão deformação de dois horizontes de um solo residual gnaíse**. 2004. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil- EESC/USP. São Paulo, SP.
- REIS, R.M.; AZEVEDO, R. F. (1998). Características de deformabilidade e resistência de um solo residual de Gnaíse da Região Metropolitana da cidade de Viçosa. **Anais do XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos solos e Engenharia Geotécnica**. Brasília, DF. v.1.p. 213 -220.
- REIS, R.M.; AZEVEDO, R. F. (1999). Anisotropy Study of residual soil based on cubical triaxial test results. **In. Pan American Conference**. Foz do Iguaçu.
- ROWE, R.K.; HO, S.K. (1996). Effect of wall geometry on the behavior of reinforced soil walls. **Geotextiles and Geomembranes**, Barking Essex, v.14, p.521-541.
- SANTOS, E.C.G.; PALMEIRA, E. M., BATHURT, R, J. (2014). Performance of two geosynthetic reinforced walls with recycled construction waste backfill and constructed on collapsible ground. **Geosynthetics International**. v.21. n.4. London, England.
- TATSUOKA, F.; YAMAUCHI, H.A. (1986). A reinforcing method for steep clay slopes using a nonwoven geotextile. **Geotextiles and Geomembranes**. v. 4. n. 3-4. p. 241 – 268.
- TUNA, S.C.; ALTUN, S. (2012). **Mechanical behaviour of sand-geotextile interface**. Scientica Iranica Transact. A; Civil Eng. v. 19. p. 1044 - 1051.
- TUPA, N. (1994). **Estudo da Aderência e Interação Solo- Geossintético**. 1994. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil – Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- VERTEMATTI, J.C. (2015). Aplicações em Reforço de Solos. In: _____. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 2ª. Ed. São Paulo: Edgard Bluncher, cap. 4, p. 84 – 93.
- VIANA, H.N.L.; PALMEIRA, E. M. (2009). Influence of Geogrid Geometrical and Mechanical Properties on the Performance of Reinforced Veneers. **Soils & Rocks**, v. 32, p. 1-18.