






## Utilização dos testes estatísticos Kruskal-Wallis e Mann-Whitney para avaliação de sistemas de solos reforçados com geotêxteis

### Use of Kruskal-Wallis and Mann-Whitney statistical tests to evaluate geotextile-reinforced soil systems

Déborah Castro e Almeida<sup>1</sup> , Heraldo Nunes Pitanga<sup>1</sup> , Taciano Oliveira da Silva<sup>1</sup> ,  
Natália Assunção Brasil Silva<sup>2</sup> , Marcela Giacometti de Avelar<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, 36570-900, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba, Rodovia: MG 443, km-7, s/n, 36420-000, Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil.

e-mail: deborah.castro@ufv.br, heraldo.pitanga@ufv.br, taciano.sil@ufv.br, natalia.brasil@ufob.edu.br, mavelar@ifes.edu.br

#### RESUMO

Esta pesquisa teve por objetivo principal avaliar a influência do tipo de geotêxtil de reforço, solo, posição de inserção do reforço geossintético e energia de compactação no comportamento mecânico de solos reforçados com geotêxtil. Esta avaliação foi baseada nos resultados dos ensaios de Resistência à Compressão Não Confinada (RCNC) e de Resistência ao Cisalhamento Direto ( $\tau_{\text{pico}}$ ). Para a avaliação da influência desses fatores no comportamento mecânico, utilizaram-se testes não-paramétricos, conforme o número de amostras de cada fator. Foram aplicados os testes de Kruskal-Wallis para os fatores “solo” e “tipo de geotêxtil” e de Mann-Whitney para os fatores “posição de inserção do geotêxtil” e “energia de compactação”. De um modo geral, os resultados não mostraram diferenças significativas de RCNC dos solos reforçados comparativamente aos não reforçados. Para o cenário que envolveu a avaliação do comportamento de diferentes solos reforçados, a diferença entre os resultados foi dependente da mobilização do reforço. Em relação aos distintos geotêxteis aplicados e às diferentes posições de localização destes elementos, notou-se que tais fatores não exerceram efeitos estatisticamente significantes sobre o parâmetro RCNC. Quando analisadas as diferentes energias de compactação, observou-se que o aumento dessa energia levou ao incremento do contato do geossintético com o solo, aumentando as forças de atrito de interface e gerando maiores acréscimos de RCNC. Quando analisados os resultados referentes aos ensaios de resistência ao cisalhamento direto, percebeu-se que as mudanças de energia de compactação, solo e tipo de geotêxtil não apresentaram diferença estatisticamente significativa sobre o parâmetro  $\tau_{\text{pico}}$  e que a inserção de diferentes geotêxteis nos distintos solos estudados não promoveu completa interação entre os materiais, proporcionando a deficiência do atrito de interface.

**Palavras-chave:** Testes não-paramétricos; Solo-geotêxtil; Comportamento Mecânico.

#### ABSTRACT

The main objective of this research was to evaluate the influence of the type of reinforcement geotextile, soil, geosynthetic reinforcement insertion position and compaction energy on the mechanical behavior of geotextile-reinforced soils. This evaluation was based on the results of the Unconfined Compressive Strength (UCS) and Direct Shear tests. In order to evaluate the influence of these factors on the mechanical behavior, non-parametric tests were used, according to the number of samples of each factor. The Kruskal-Wallis tests were applied for the factors “soil” and “type of geotextile” and the Mann-Whitney tests for the factors “position of insertion of the geotextile” and “compaction energy”. In general, the results did not show significant differences in UCS of reinforced soils compared to unreinforced ones. For the behavior of different reinforced soils, the difference between the results was dependent on the reinforcement mobilization. Regarding the different geotextiles applied and the different location positions of these elements, it was noted that such factors did not exert statistically significant effects on the UCS parameter. When the different compaction energies were analyzed, it

was observed that the increase in this energy led to an increase in the contact of the geosynthetic with the soil, increasing the interface friction forces and generating greater increases in UCS. When analyzing the results referring to the direct shear strength tests, it was noticed that the changes in compaction energy, soil and type of geotextile did not present a statistically significant difference on the parameter and that the insertion of different geotextiles in the different soils studied did not promote complete interaction between the materials, providing the deficiency of interface friction.

**Keywords:** Non-parametric tests; Soil-geotextile; Mechanical Behavior.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a procura por materiais que visam proporcionar o reforço de solos tem crescido consideravelmente. Esse crescimento se deve à constante busca pela superação de desafios na implantação de grandes obras civis em locais ou terrenos que apresentam características geotécnicas inadequadas. Neste contexto, os materiais geossintéticos ocupam espaços significativos, unindo as características de simplicidade construtiva às suas múltiplas funções de atuação [1–5].

Embora os geossintéticos tenham sido introduzidos no Brasil na década de 1970, apenas duas décadas depois começaram a ser usados mais amplamente em obras de infraestrutura na engenharia civil [6–7]. Atualmente, esses materiais são cada vez mais utilizados devido às vantagens que proporcionam. Em comparação com as soluções tradicionais, tais como as técnicas de remoção e substituição de solos de baixa capacidade de suporte, de aceleração do adensamento por drenos verticais de areia e de melhoramento de suas propriedades com a inserção de agentes cimentantes, os aspectos que conduzem ao aumento do uso de geossintéticos incluem versatilidade, facilidade de uso, excelente desempenho funcional e baixo custo [8–9].

Dentre os geossintéticos, cita-se a classe dos geotêxteis, subdivididos em tecido, não tecido e tricotado, os quais podem ser caracterizados pelo arranjo textural entre as fibras e/ou filamentos componentes de sua estrutura, pela natureza do polímero presente em sua composição, pela tecnologia de fabricação e pelas suas aplicações geotécnicas [9–10]. Considerando-se particularmente o potencial de aplicação geotécnica de geotêxteis como elemento de reforço, BENJAMIM [11] afirma que os tecidos e não-tecidos são os mais frequentemente empregados para esse fim e que o processo de reforço consiste na inserção, no maciço de solo, desses elementos geossintéticos geralmente dotados de elevada resistência à tração. A utilização de elementos geotêxteis de reforço leva a uma redistribuição das tensões e deformações do maciço de solo, podendo resultar em um sistema mais resistente e menos deformável comparado ao constituído pelo solo natural [12–18].

O desempenho global de um solo reforçado com geotêxtil está relacionado a fatores como as propriedades do solo, do reforço geossintético e da interface solo-geossintético, sendo a interação solo-reforço fundamental para o eficiente comportamento das estruturas de solo reforçado. Essa interação pode ser muito complexa, dependendo da natureza e propriedades do solo e do elemento geossintético de reforço [1, 19–22].

Diversos estudos afirmam que a estabilidade de estruturas de solo reforçado com geotêxtil depende da interação entre o solo e o material de reforço [23–25]. FERREIRA [26] conclui que estruturas de solo reforçadas com geotêxteis possuem dois principais mecanismos de falha, sendo eles o deslizamento na interface solo-reforço e a ruptura (rasgamento) do elemento de reforço, ressaltando que a mobilização da resistência ao cisalhamento entre solos e geotêxteis é um fenômeno bidimensional fortemente afetado pela extensibilidade dos geotêxteis. LOPES [27] afirma que um maior grau de deformação do geotêxtil leva a uma mobilização menos eficaz da resistência de interface. Sendo assim, a estabilidade do solo reforçado está fortemente relacionada com a eficácia da transferência de tensão do solo para o reforço, proporcionada pela mobilização da resistência ao cisalhamento ao longo da interface solo-geotêxtil [28, 22].

No que concerne ao solo, tradicionalmente, materiais granulares de drenagem livre são recomendados para estruturas reforçadas com geossintéticos [29–32]. Essas diretrizes são baseadas na má drenagem de solos de granulometria fina, que pode levar à perda de resistência ao cisalhamento do solo. Porém, solos com granulometria fina reiteradamente apresentam bons parâmetros de resistência ao cisalhamento [33–35], realçando a necessidade de estudos que avaliem a utilização de solos não granulares em estruturas reforçadas com geossintéticos.

Para os geotêxteis, suas propriedades mecânicas internas (resistência e rigidez à tração) e superficiais (resistência ao cisalhamento de interface) intervêm no comportamento de uma estrutura solo-reforço [36]. Os parâmetros mecânicos intervenientes dependem do material sintético utilizado na sua confecção e do processo de fabricação da manta geotêxtil. Geralmente, geotêxteis tecidos, cuja manta assume uma configuração estrutural ordenada, transmitem os esforços de tração diretamente aos fios, apresentando uma resposta mais rápida às solicitações impostas, e não gerando grandes deformações iniciais. Em contrapartida, os geotêxteis não-tecidos, devido à configuração aleatória dos fios, admitem uma deformação inicial até que os seus fios resistam efetivamente ao esforço aplicado [37–39].

JONES [40] concluiu que geotêxteis mais rígidos levam a maiores tensões no solo e no reforço, já que o equilíbrio de tensões é atingido com menores deformações. MENDES *et al.* [41] também verificaram uma profunda influência da rigidez do reforço nas propriedades de estruturas reforçadas, indicando que, correntemente, a maior rigidez do reforço leva a uma maior mobilização de forças de tração. ZHENG *et al.* [42] constataram que a rigidez à tração do reforço interfere fortemente nas características dos solos reforçados por geossintéticos.

Segundo MONTE [43], o uso do reforço se mostra eficiente quando este é posicionado em regiões que apresentem deformações devidas aos esforços de tração e quando orientado na direção principal destas deformações. SIERA [44] ainda afirma que, para que haja o correto melhoramento do desempenho do solo, o geotêxtil deve ser solicitado à tração devido às tensões impostas.

Em estruturas de solo reforçado, as características de compactação do sistema podem influenciar na mobilização do reforço. TEIXEIRA [45] e FERREIRA [46] constataram em seus estudos que a elevação do grau de compactação do solo causa um aumento progressivo na resistência ao cisalhamento de estruturas solo-reforço. Isto ocorreu porque houve uma melhora do contato do geossintético com o solo, incrementando as forças de atrito de interface. OLIVEIRA *et al.* [47], através de ensaios de resistência à compressão não confinada, mostraram que o acréscimo de resistência devido à inserção do reforço não foi proporcional ao aumento da energia de compactação. KAKUDA [48] constatou em sua pesquisa que o aumento no grau de compactação proporciona maiores valores de resistência ao arrancamento em estruturas solo-reforço e que maiores valores no grau de compactação resultam em maiores deslocamentos localizados para arrancar um elemento de reforço.

Na literatura técnico-científica sobre o assunto, observa-se que pesquisas analisaram, a partir de métodos estatísticos paramétricos, a influência que a inserção de geotêxteis leva aos parâmetros mecânicos de solos reforçados [49–50]. Outros estudos avaliaram a influência das propriedades do solo, do reforço geossintético e da interface solo-geossintético nas características destes sistemas [24–25, 40]. Porém, identifica-se a ausência de estudos que analisem, a partir de métodos estatísticos não paramétricos, as implicações resultantes da adoção de diferentes fatores em sistemas solo-geotêxtil. Com base na importância de se conhecer parâmetros quantificadores das respostas mecânicas de sistemas de solos reforçados por geotêxtil e de se avaliar os fatores intervenientes que influenciam o desempenho dessas estruturas, o presente trabalho teve como objetivo geral analisar, a partir de testes estatísticos, a influência do tipo de geotêxtil de reforço, solo, posição de inserção do reforço geossintético e energia de compactação no comportamento mecânico de solos reforçados com geotêxtil.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

No programa experimental desta pesquisa foram utilizados três diferentes solos, sendo eles:

- **Solo BR:** solo residual maduro coletado do horizonte B de um talude de corte localizado à margem da Rodovia BR 120, nas proximidades do trevo de acesso ao campus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa (UFV).
- **Solo VS:** solo residual jovem (saprolítico) coletado de um talude de corte localizado na Vila Secundino, no campus Viçosa da UFV.
- **Solo AERO:** solo residual jovem coletado do horizonte C de um talude de corte localizado à margem da Rodovia BR 120, nas proximidades do Aeroporto de Viçosa – MG.

Os geotêxteis empregados nesta pesquisa corresponderam a duas amostras de geotêxteis tecidos biaxiais constituídos de laminetes de polipropileno, denominados por meio das siglas T55 (Figura 1a) e T25 (Figura 1b), e uma amostra de geotêxtil não tecido agulhado de poliéster, denominado pela sigla NT10 (Figura 1c).



(a) Geotêxtil tecido T55

(b) Geotêxtil tecido T25

(c) Geotêxtil não tecido agulhado NT10

**Figura 1:** Geotêxteis empregados na pesquisa (aumento de 10x).

**Tabela 1:** Propriedades dos geotêxteis empregados na pesquisa.

PROPRIEDADE		T55	T25	NT10
Espessura Nominal (mm)		0,93	0,66	1,99
Massa por unidade de área (g/m <sup>2</sup> )		244	117	210
Resistência à tração nominal (kN/m)	Direção longitudinal	55	25	10
	Direção transversal	55	25	9
Deformação na resistência à tração nominal (%)	Direção longitudinal	≤ 15	≤ 15	>50
	Direção transversal	≤ 15	≤ 15	>50

As características tecnológicas destes geotêxteis, fornecidas pelo fabricante, são apresentadas na Tabela 1.

Foram coletadas amostras deformadas representativas dos solos BR, VS e AERO, de acordo com a NBR 9604 [51]. Posteriormente, foram preparadas amostras conforme as recomendações da NBR 6457 [52] para a realização dos ensaios de caracterização e classificação geotécnica. Para tal caracterização, foram realizados os ensaios de Análise Granulométrica, segundo a NBR 7181 [53], Massa Específica dos Sólidos, conforme a ME 093 [54], e Limites de Liquidez e de Plasticidade, de acordo com a NBR 6459 [55] e NBR 7180 [56], respectivamente.

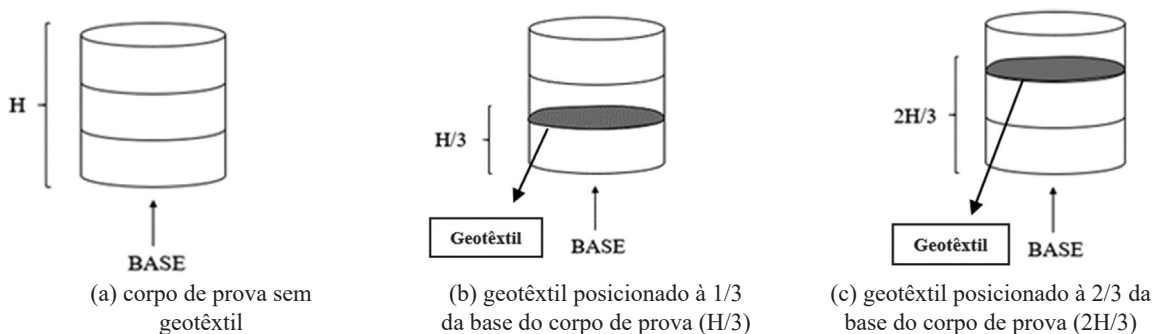
Os solos foram classificados, ainda, de acordo com sua textura (NBR 6502 [57]) e com os sistemas tradicionais de classificação geotécnica, a saber, Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) (D 2487 – 11 [58]) e *Transportation Research Board* (TRB) (M 145 – 91 [30]). Considerando-se as peculiaridades dos solos tropicais, também foi aplicada a metodologia de classificação MCT – Miniatura Compactado Tropical, de acordo com a norma CLA 259 [59].

Os corpos de provas investigados, correspondentes aos solos compactados com e sem reforço geotêxtil, foram moldados nas respectivas umidades ótimas dos solos compactados nas energias Proctor normal e Proctor modificado. Para tal, seguiu-se o protocolo prescrito pela NBR 7182 [60]. As características relacionadas ao ensaio de compactação são apresentadas na Tabela 2.

Os ensaios de Resistência à Compressão Não-Confinada (RCNC) foram realizados para as amostras compactadas de solo, reforçadas e não reforçadas, conforme a NBR 12770 [61]. Para os solos reforçados, variou-se a posição de colocação dos geotêxteis, os quais foram inseridos entre as camadas compactadas em duas configurações distintas: entre a primeira e a segunda camadas compactadas (Figura 2b), isto é, a 1/3 da base do

**Tabela 2:** Propriedades de compactação dos solos empregados na pesquisa.

SOLO	ENERGIA DE COMPACTAÇÃO	TEOR DE UMIDADE ÓTIMO (%)
BR	NORMAL	27,73
VS		14,04
AERO		33,57
BR	MODIFICADO	23,68
VS		11,55
AERO		27,42



**Figura 2:** Posicionamento do geotêxtil no interior dos corpos de prova do ensaio de Resistência à Compressão Não-Confinada.

cilindro (H/3); após a segunda camada compactada, a 2/3 da base do cilindro (2H/3) (Figura 2c). Para tanto, decidiu-se compactar tanto as amostras sem reforço quanto as reforçadas em três camadas.

Os ensaios de resistência ao cisalhamento direto foram realizados para as amostras compactadas de solo, não reforçadas e reforçadas por geotêxtil (Figura 3), conforme a norma D3080 [62]. Para os solos reforçados pela inserção do geotêxtil, foi determinada a resistência ao cisalhamento de pico ( $\tau_{pico}$ ) correspondente à interface solo-geotêxtil. Antes do início do carregamento cisalhante, o sistema foi inundado, visando a saturação do corpo de prova, seguido da etapa de adensamento. As tensões normais utilizadas nas etapas de adensamento e de ruptura foram de 50, 100 e 200kPa, sendo realizadas no mínimo duas repetições de ensaio para cada uma delas. A taxa de carregamento aplicada (velocidade de cisalhamento) foi de 0,75 mm/min, já o deslocamento horizontal máximo medido foi de 19 mm (deslocamento máximo do equipamento).

Para a determinação das análises estatísticas, inicialmente realizou-se a verificação da Normalidade dos dados de RCNC e de  $\tau_{pico}$  por meio do teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov, através da utilização do software estatístico Minitab 16®. Na interpretação destes testes, verificou-se o valor-p, que pode ser interpretado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula (H0), sendo H0 correspondente à distribuição Normal, de modo que: (i) se  $\text{valor-p} \leq \alpha$ , rejeita-se H0, ou seja, não se pode admitir que o conjunto de dados em questão tenha distribuição Normal, e nesse caso os dados são não paramétricos; (ii) se  $\text{valor-p} > \alpha$ , não se rejeita H0, ou seja, a distribuição Normal é uma distribuição possível para o conjunto de dados em questão. O teste de Normalidade foi realizado com grau de confiança de 95% [nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%].

Para verificar se houve diferença significativa entre as medianas dos parâmetros analisados [Resistência à Compressão Não-Confinada (RCNC) e Resistência ao Cisalhamento de Pico ( $\tau_{pico}$ )], considerando-se a interveniência dos fatores “solo” e “tipo de geotêxtil”, foi realizado o teste Kruskal-Wallis. O teste de Kruskal-Wallis é um método não paramétrico utilizado para comparar três ou mais populações. Ele é usado para testar a hipótese nula de que todas as populações possuem funções de distribuição iguais contra a hipótese alternativa de que ao menos duas das populações possuem funções de distribuição diferentes. Se o  $\text{valor-p} \leq 0,05$ , então a hipótese nula pode ser rejeitada.

O teste de Mann-Whitney é baseado nos postos dos valores obtidos combinando-se duas amostras. Se o  $\text{valor-p}$  for menor ou igual ao nível de significância (0,05), rejeita-se a hipótese nula e conclui-se que a diferença entre as medianas da população é estatisticamente significativa. Neste aspecto, o teste de Mann-Whitney foi realizado para verificar se houve diferença significativa entre as médias dos parâmetros analisados [Resistência à Compressão Não-Confinada (RCNC) e Resistência ao Cisalhamento de Pico ( $\tau_{pico}$ )], considerando-se a interveniência dos fatores “posição de inserção do geotêxtil” e “energia de compactação aplicada”, pois estes apresentam duas amostras.

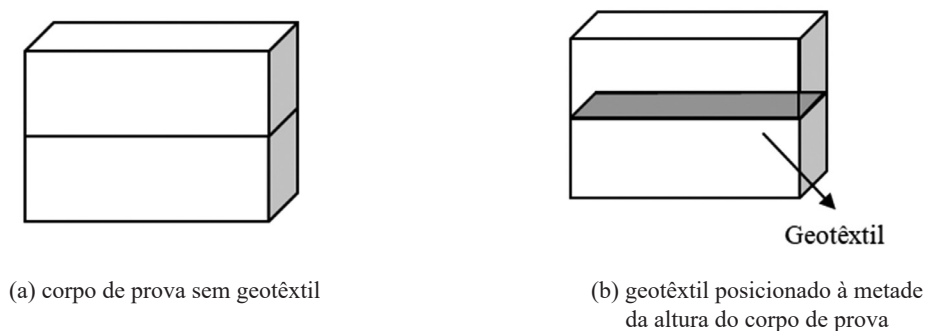
### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterização e classificação geotécnicas dos solos

Na Tabela 3 apresenta-se o resultado da caracterização geotécnica dos solos empregados na pesquisa.

A classificação textural e as classificações geotécnicas tradicionais dos solos (SUCS e TRB) encontram-se na Tabela 4.

A partir dos resultados apresentados, percebe-se que o solo BR possui características texturais predominantemente argilosas, o solo VS arenosas e o solo AERO siltosas. Sabe-se que o desempenho da estrutura



**Figura 3:** Posicionamento do geotêxtil no interior dos corpos de prova do ensaio de resistência ao cisalhamento direto.

**Tabela 3:** Caracterização geotécnica dos solos pesquisados.

CARACTERÍSTICA GEOTÉCNICA		SOLO		
		BR	VS	AERO
FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS (%)				
Grossa	$0,6 \leq \varnothing < 2,0$ mm	3	15	1
Areia	Média $0,2 \leq \varnothing < 0,6$ mm	16	40	5
	Fina $0,06 \leq \varnothing < 0,2$ mm	9	26	19
Silte	$0,002 \leq \varnothing < 0,06$ mm	7	16	42
Argila	$\varnothing < 0,002$ mm	65	3	33
Peso específico dos sólidos – $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )		27,43	25,32	29,53
Limite de Liquidez – LL (%)		66	26	70
Limite de Plasticidade – LP (%)		37	23	35
Índice de Plasticidade – IP (%)		29	3	35

**Tabela 4:** Classificações textural e geotécnicas tradicionais dos solos pesquisados.

CLASSIFICAÇÃO	SOLO		
	BR	VS	AERO
TEXTURAL	Argila arenosa com um pouco de silte	Areia média siltosa com vestígios de argila	Silte argilo-arenoso
SUCS	CH (argila com areia)	SM (areia siltosa)	MH (Silte argiloso de alta compressibilidade)
TRB	A-7-5 (17)	A-2-4 (0)	A-7-5 (20)

de solo reforçado depende do atrito ou aderência entre o solo e o material de reforço, portanto a eficiência no desempenho do elemento de reforço depende do tipo de solo [33, 48, 63].

Pelo SUCS, os solos BR e AERO possuem expansibilidade elevada, capacidade de suporte (CBR) de campo baixa e drenagem de moderada a praticamente inexistente. Logo, são solos pouco indicados como materiais de aterro e para compor as camadas subjacentes dos pavimentos. O solo VS tem seu uso indicado para subleitos, necessitando de algum tipo de estabilização para compor bases de pavimentos [58].

Pelo TRB, os solos BR e AERO se enquadram no grupo A-7-5, acrescidos dos índices de grupo (17) e (20), respectivamente, categorizando-os como argilas plásticas de alta compressibilidade, altamente elásticas e propensas a sofrerem grandes variações volumétricas [64]. Segundo esta classificação, os solos estudados têm aptidão de fraca a pobre para serem utilizados como materiais de fundação em pavimentos. O solo VS (A-2-4) deverá apresentar um bom comportamento como subleito e excelente capacidade de suporte sob boas condições de drenagem e compactação [30].

Tem-se ainda que solos não granulares, a exemplo dos solos BR e AERO, podem possuir insuficiência de desempenho devido ao fato de que um baixo ângulo de atrito interno resulta em maiores forças horizontais resistidas pelo material de reforço, levando a um menor atrito de interface [12, 22].

Os resultados relacionados à classificação MCT para os solos utilizados na pesquisa encontram-se na Tabela 5.

Em relação à classificação MCT dos solos estudados, observa-se que o solo BR é um solo laterítico, enquanto os solos VS e AERO são solos não lateríticos. Sabe-se que solos tropicais, sobretudo os de comporta-

**Tabela 5:** Resultados da classificação MCT para os solos da pesquisa.

SOLO	CLASSIFICAÇÃO MCT
BR	LG' (Laterítico Argiloso)
VS	NA' (Não – Laterítico Arenoso)
AERO	NG' (Não – Laterítico Argiloso)

mento laterítico, quando devidamente compactados na umidade ótima e peso específico aparente seco máximo da energia adotada, adquirem baixa permeabilidade e elevada capacidade de suporte. Esses solos ainda, comumente, apresentam elevadas resistência mecânica e estabilidade química [33, 65, 66].

Pelo MCT, o solo BR foi classificado como Laterítico Argiloso (LG’). Neste subgrupo, encontram-se as argilas e argilas arenosas, que constituem o horizonte B dos solos pedologicamente conhecidos por latossolos, solos podzólicos e terras roxas estruturadas. Quando devidamente compactado na umidade ótima da energia adotada, solos do grupo LG’ adquirem elevada resistência mecânica e baixa permeabilidade, sem perda significativa da sua capacidade de suporte e sem aumento da expansão volumétrica, quando submerso. O solo AERO enquadra-se como Não Laterítico Argiloso (NG’), pertencente às categorias de solos superficiais pedogenéticos não lateríticos, como vertissolos, assim como muitos solos transportados. A ocorrência de caulinita na fração silte destes solos, sobretudo quando compactados, pode contribuir na expansão. Além disso, a má cristalização da caulinita e sua associação com materiais micáceos (ou como pseudomorfos de biotita) podem também ser responsáveis pelos maiores índices de expansibilidade observados nestes solos [67].

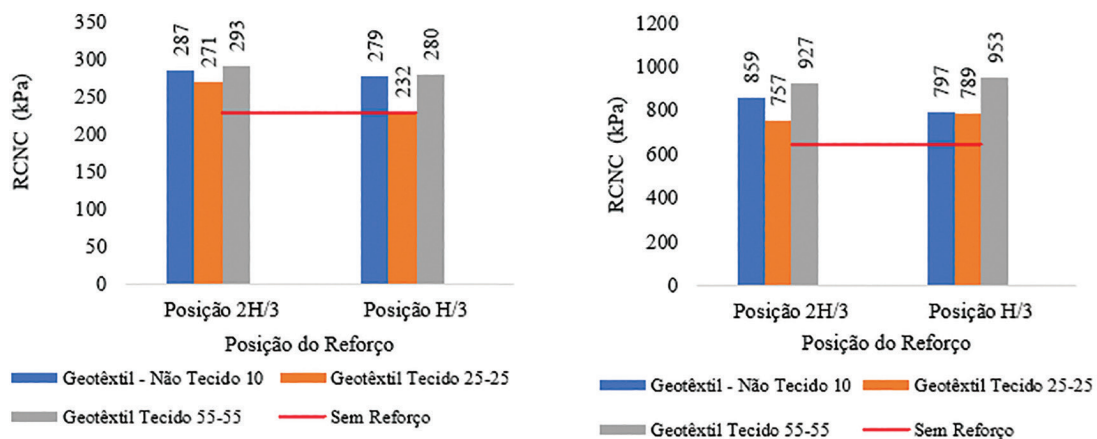
Os solos do grupo NA’, tal como o solo VS, caracterizam-se por serem os tipos mais representativos de solos saprolíticos, originados de rochas ricas em quartzo, tais como granitos e gnaisses. Quando bem graduados e a natureza (argilominerais não expansivos) e porcentagem de finos seguem às especificações das classificações tradicionais (% de finos < 50%), os solos desse grupo podem apresentar propriedades adequadas para compor camadas de pavimentos [64, 67]. Contudo, NOGAMI E VILLIBOR [67] respaldam que, se mal graduados e os finos não obedecerem às condições supracitadas, ou, ainda, se contiverem, na fração areia ou silte, mica e/ou macrocristais de caulinita, uma avaliação mais criteriosa da sua capacidade de suporte e de suas características expansivas deve ser realizada na ocasião da sua classificação. Estes solos, em função da sua heterogeneidade, podem ser muito expansivos e elásticos (baixo módulo de resiliência), sendo desaconselhável seu uso para bases de pavimentos.

### 3.2. Resistência à compressão não confinada

As Figuras 4, 5 e 6 apresentam, respectivamente, os resultados de RCNC para as amostras de solo BR, VS e AERO compactadas nas energias Proctor normal e Proctor modificado, para as condições previstas neste trabalho.

A Tabela 6 apresenta o resultado do teste de Mann-Whitney, visando avaliar estatisticamente a influência da inserção de geotêxteis na RCNC, enquanto a Tabela 7 apresenta os resultados dos testes de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney, visando avaliar estatisticamente a influência dos fatores “energia de compactação”, “solo”, “posição de inserção do geotêxtil” e “tipo de geotêxtil” na RCNC.

Pelo resultado da Tabela 6, percebe-se que as diferenças entre as medianas de RCNC dos corpos de prova com e sem a inserção de geotêxteis não possuem diferenças estatísticas significativas (valor-p > 0,05). Nota-se ainda, ao analisar os resultados da Tabela 7, que a diferença entre os valores de RCNC é estatisticamente significativa (valor-p ≤ 0,05) em relação aos fatores “energia de compactação” e “solo”, isto é, estatisticamente, esses



(a) Solo BR compactado na energia Proctor Normal

(b) Solo BR compactado na energia Proctor Modificada

Figura 4: Comparação entre os resultados de RCNC do solo BR.

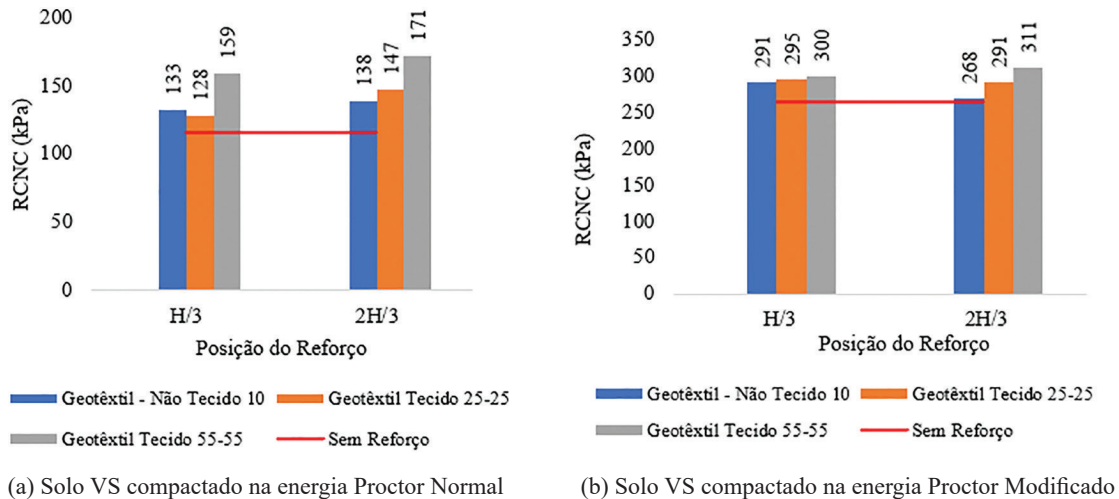


Figura 5: Comparação entre os resultados de RCNC do solo VS.

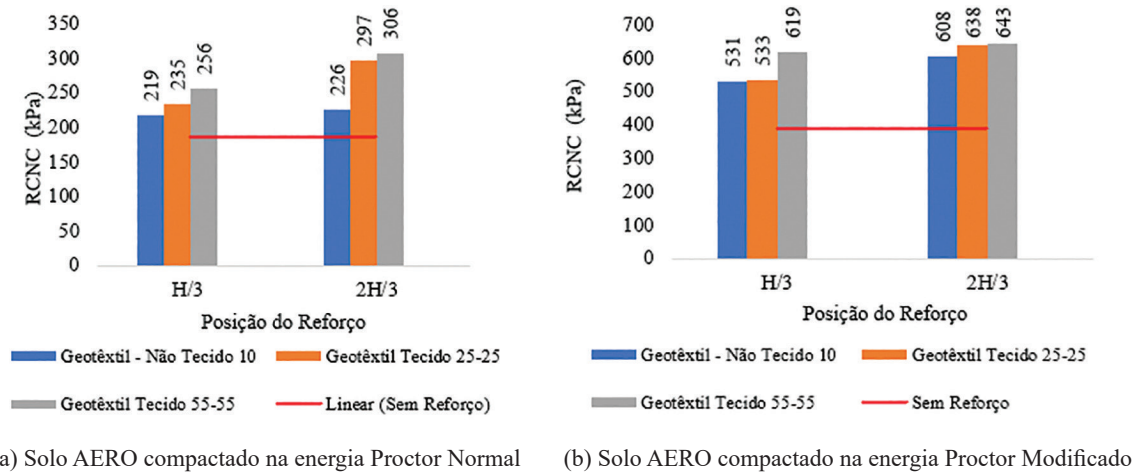


Figura 6: Comparação entre os resultados de RCNC do solo AERO.

Tabela 6: Teste de Mann-Whitney para RCNC: avaliação da influência do reforço geotêxtil.

FATOR	VALOR-P
INSERÇÃO DO GEOTÊXTEL	0,306

\* Nível de significância de 5%, valor-p ≤ 0,05.

fatores interferem ou influenciam a RCNC. Para a “posição de inserção do geotêxtil” ou o “tipo de elemento de reforço”, os valores-p foram maiores que 5%, evidenciando que os dois fatores não exerceram efeitos estatisticamente significantes sobre o parâmetro RCNC.

Considerando os ensaios de RCNC, sabe-se que a ruptura do maciço é caracterizada pela formação de uma superfície de cisalhamento contínua na massa de solo. Portanto, existe uma camada de solo em torno da superfície de cisalhamento que perde suas características durante o processo de ruptura, formando assim a zona cisalhada. Inicialmente, há a formação da zona cisalhada e, em seguida, desenvolve-se a superfície de cisalhamento [68].



**Tabela 7:** Testes de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney para RCNC: avaliação da influência dos fatores.

FATOR	TESTES DE KRUSKAL-WALLIS VALOR P	TESTES DE MANN-WHITNEY VALOR-P
Energia de compactação	–	0,000*
Solo	0,009*	–
Posição	–	0,558
Geotêxtil	0,542	–

\* Nível de significância de 5%, valor-p  $\leq 0,05$ .

Avaliando os ensaios de RCNC para amostras reforçadas, sabe-se que, quando estas estão submetidas a uma tensão vertical, há a tendência de induzir o sistema à ruptura por cisalhamento. Quando tais estruturas são submetidas a solicitações de compressão, ocorrerá uma transferência de esforços entre o solo e o reforço, gerando tensões de tração no geotêxtil. Quando o geotêxtil possui adequada aderência com o solo e ancoragem compatível com a solicitação, tal processo de interação permite que as tensões transferidas pelo solo sejam completamente mobilizadas pelos reforços, incrementando as tensões suportadas [69–70].

Considerando-se que o reforço deve estar suficientemente ancorado no solo para resistir aos esforços de tração impostos ao maciço e, para que ocorra a devida ancoragem e o consequente desenvolvimento dos mecanismos de reforço, é necessário que se tenha um comprimento de ancoragem fora da área carregada, em um ensaio RCNC o comprimento disponível para a ancoragem é aquele onde o geotêxtil não é solicitado [1, 45, 71].

Assim, infere-se que a não diferença estatística entre as RCNCs, para os corpos de prova não reforçados e reforçados por diferentes geotêxteis em distintas posições, ocorreu devido à transmissão incompleta de tensões do solo para o geotêxtil. Observam-se, nas Figuras 7 a 9, as imagens de ensaios RCNC dos sistemas investigados para os solos não reforçados e reforçados, respectivamente, com indicação da mudança dos planos de ruptura para as configurações supracitadas.

A Figura 10 mostra o diagrama de caixa comparando a variabilidade do RCNC para as duas energias de compactação utilizadas nesta pesquisa. A partir deste diagrama, pode-se concluir que as amostras compactadas na energia de compactação Proctor modificado apresentaram maior variabilidade no parâmetro RCNC do que aquelas compactadas na energia Proctor normal. Tem-se que uma solicitação menor ou menos eficiente do



(a) Solo BR não reforçado



(b) Solo BR reforçado

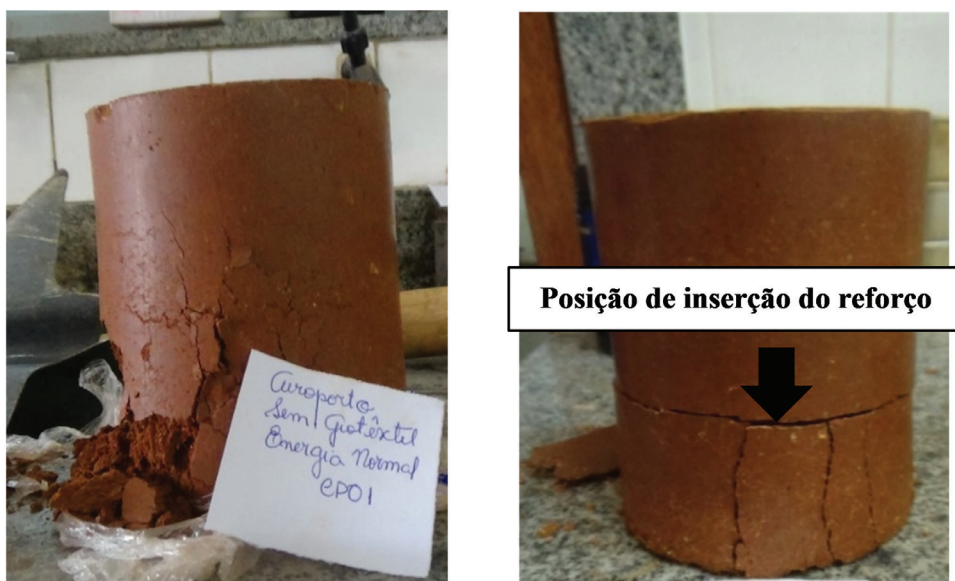
**Figura 7:** Planos de ruptura de ensaio RCNC para corpos de prova de solo BR.



(a) Solo VS não reforçado

(b) Solo VS reforçado

**Figura 8:** Planos de ruptura de ensaio RCNC para corpos de prova de solo VS.



(a) Solo AERO não reforçado

(b) Solo AERO reforçado

**Figura 9:** Planos de ruptura de ensaio RCNC para corpos de prova de solo AERO.

reforço em solos reforçados compactados a elevados níveis de energia de compactação pode resultar da maior severidade dos danos superficiais provocados durante a compactação do solo sobre o geotêxtil [72].

Infere-se então que a maior variabilidade da RCNC constatada nos ensaios envolvendo corpos de prova compactados na energia Proctor modificado ocorre devido às distintas características granulométricas dos solos estudados, que possivelmente implicaram em diferentes danos superficiais aos geotêxteis quando compactados a uma energia de compactação de maior magnitude (Figura 11). Quando os geotêxteis sofrem danos, estes perdem suas características originais de resistência à tração, conduzindo a uma mobilização menos eficiente de sua função de reforço [73].

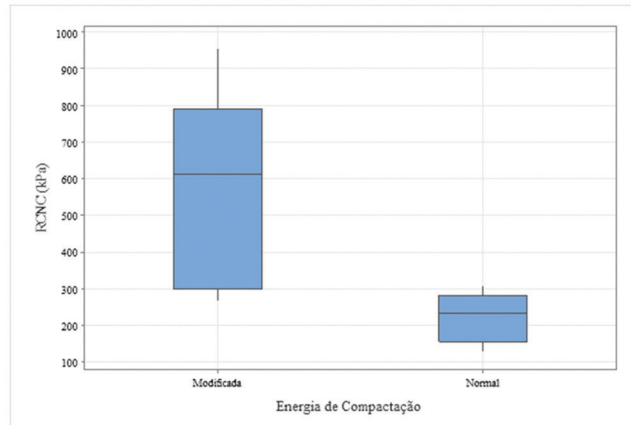


Figura 10: Diagrama de caixa com os resultados da RCNC para as energias Proctor modificado e Proctor normal.

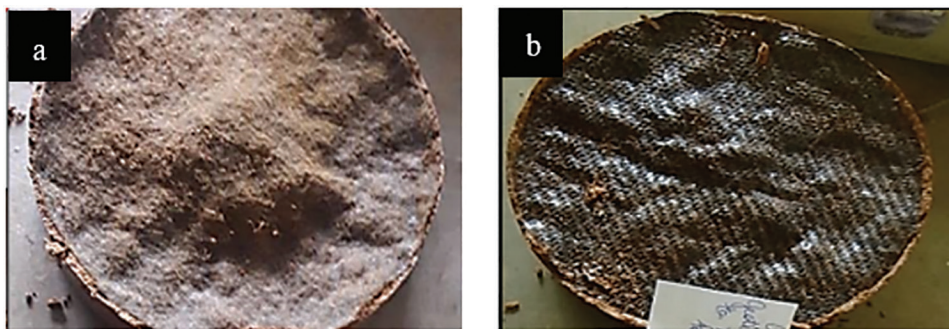


Figura 11: Danos superficiais de amostras de geotêxteis de reforço exumadas após ensaio de RCNC: (a) geotêxtil NT10; (b) geotêxtil T55.

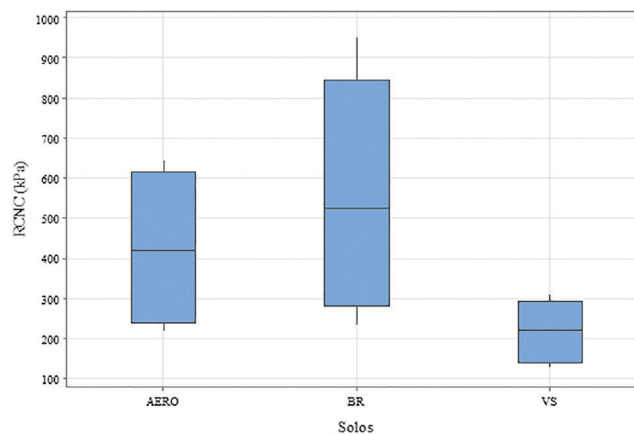


Figura 12: Diagrama de caixa comparando a variabilidade da RCNC para os três solos utilizados nesta pesquisa.

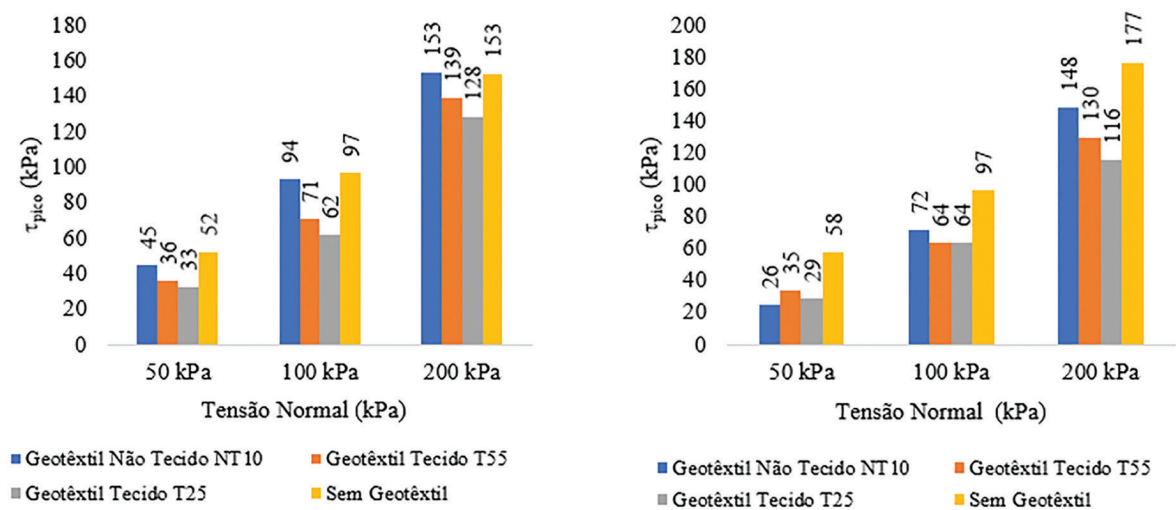
A partir do diagrama de caixa, apresentado na Figura 12, observa-se, ao comparar os solos utilizados nesta pesquisa, que as amostras de solo BR e AERO apresentaram maior variabilidade no parâmetro RCNC do que as amostras de solo VS. Nesse sentido, cabe ressaltar que, em solos de alta permeabilidade, a drenagem interna do sistema solo-geotêxtil é alcançada pelo próprio solo e que em solos de baixa permeabilidade a variação dos geotêxteis influencia no processo de interação solo-reforço. Adicionalmente, sabe-se que diferentes geotêxteis fornecem distintas funções de drenagem e que a ausência da adequada drenagem resulta em armazenamento adicional de umidade na interface solo-geossintético e conseqüente prejuízo no processo de interação solo-geotêxtil [74, 69]. Assim, acredita-se que a maior variabilidade no parâmetro RCNC apresentada pelos solos AERO e BR, moldados na condição não saturada, resulta das distintas interações solo-reforço geradas pelas diferentes drenagens internas proporcionadas pelas características dos geotêxteis.

### 3.3. Resistência ao cisalhamento direto

As Figuras 13 e 14 apresentam os resultados dos ensaios de resistência ao cisalhamento direto ( $\tau_{pico}$ ) para as amostras de solo BR e solo VS compactadas nas energias Proctor normal e Proctor modificado, respectivamente.

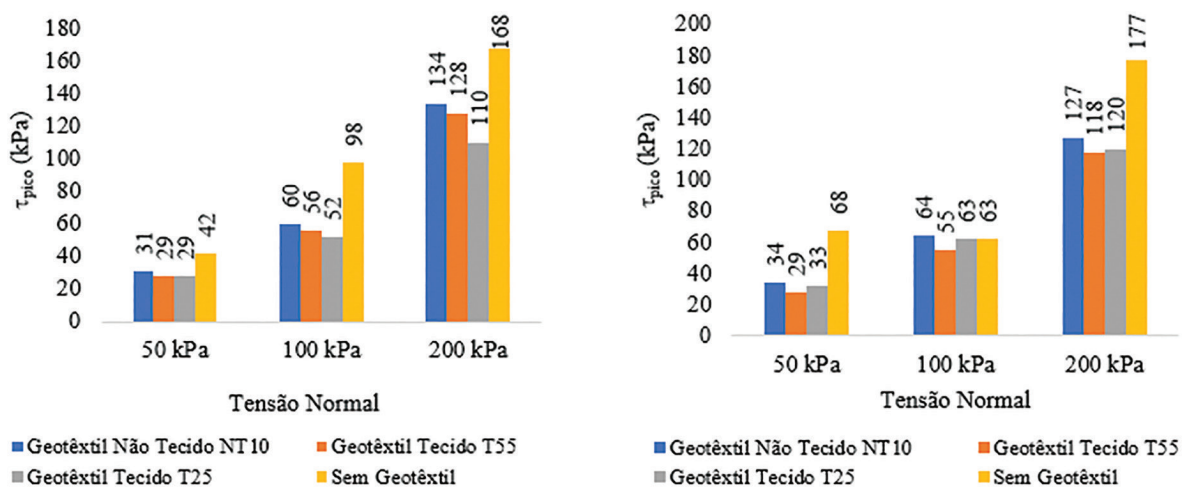
A Tabela 8 apresenta o resultado do teste de Mann-Whitney, visando avaliar estatisticamente a influência da inserção de geotêxteis na  $\tau_{pico}$ , enquanto a Tabela 9 apresenta os resultados dos testes de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney, visando avaliar estatisticamente a influência dos fatores “energia de compactação”, “solo”, e “tipo de geotêxtil” na  $\tau_{pico}$ .

Nota-se que a inserção de diferentes geotêxteis não influenciou significativamente nos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos sistemas estudados. Percebe-se ainda que, para as mudanças de solo, tipo de geotêxtil e energia de compactação, os valores-p foram maiores que 5%, evidenciando que os três fatores não exerceram efeitos estatisticamente significantes sobre o parâmetro  $\tau_{pico}$ .



(a) Solo BR compactado na energia Proctor Normal (b) Solo BR compactado na energia Proctor Modificada

Figura 13: Resistência ao cisalhamento de pico ( $\tau_{pico}$ ) para os corpos de prova do solo BR.



(a) Solo BR compactado na energia Proctor Normal (b) Solo BR compactado na energia Proctor Modificada

Figura 14: Resistência ao cisalhamento de pico ( $\tau_{pico}$ ) para os corpos de prova do solo VS.

**Tabela 8:** Teste de Mann-Whitney para  $\tau_{\text{pico}}$ : avaliação da influência do reforço geotêxtil.

FATOR	VALOR-P
INSERÇÃO DO GEOTÊXTIL	0,063

\* Nível de significância de 5%, valor-p  $\leq$  0,05.

**Tabela 9:** Testes de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney para  $\tau_{\text{pico}}$ : avaliação da influência dos fatores.

FATOR	TESTES DE KRUSKAL-WALLIS VALOR P	TESTES DE MANN-WHITNEY VALOR-P
Energia de compactação	–	0,826
Solo	0,296	–
Geotêxtil	0,683	–

\* Nível de significância de 5%, valor-p  $\leq$  0,05.

Sabe-se que a interação solo-geotêxtil é fundamental para a mobilização da resistência ao cisalhamento de interface e que, em um ensaio de cisalhamento direto, a resistência de interface é mobilizada pelo deslizamento da massa de solo em relação ao geossintético [75, 76]. Assim, conclui-se que a inserção de diferentes geotêxteis nos distintos solos estudados não promoveu completa interação entre os materiais, proporcionando a deficiência do atrito de interface e conseqüente insuficiência na mobilização da resistência ao cisalhamento, resultando no não acréscimo de  $\tau_{\text{pico}}$  para os diferentes sistemas estudados. Essa deficiência pode ter sido causada pela inadequada aderência na interface solo-reforço. A ausência de aderência na interface pode atuar como um plano de deslizamento potencial. Isso pode ser entendido observando-se o fato de que os valores do coeficiente de atrito da interface são tipicamente menores que a unidade para muitos tipos de geotêxteis [25, 35].

#### 4. CONCLUSÕES

Baseado nos resultados deste estudo, que teve como objetivo avaliar o efeito do geotêxtil e de outros fatores no comportamento mecânico de solos reforçados com geotêxtil, confirmou-se a hipótese de que os testes estatísticos Kruskal-Wallis e Mann-Whitney podem auxiliar a avaliação de sistemas de solos reforçados com geotêxteis.

Além disso, foi possível identificar quais fatores exercem influência nos parâmetros mecânicos, RCNC e  $\tau_{\text{pico}}$ , dos solos reforçados. Deste modo, concluiu-se que a inserção do geotêxtil não promove diferença estatisticamente significativa em ambos os parâmetros.

Em relação aos solos reforçados, o tipo de solo e a energia de compactação nos solos levam a diferenças significativas entre os parâmetros mecânicos. Entretanto, o tipo de geotêxtil aplicado não exerce diferença significativa nos parâmetros analisados.

Pelo protocolo de análise estatística proposto, verifica-se que, uma vez definida a significância estatística dos fatores intervenientes no comportamento mecânico dos solos, é possível simplificar a compreensão da relação entre causa e efeito nesse comportamento.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos as instituições de ensino (Universidade Federal de Viçosa e Instituto Federal do Espírito Santo de Nova Venécia) por terem proporcionado a estrutura necessária para que pudéssemos realizar tal pesquisa.

#### 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] MARTINS, C.C., *Análise e reavaliação de estruturas em solos reforçados com geotêxteis*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.
- [2] VILAR, O.M., BUENO, B.S., “Some topics regarding the influence of non-saturation on the behavior of reinforced soil structures built with tropical soils”, In: *First Pan American Geosynthetics Conference & Exhibition*, Cancún, 2008.
- [3] MARQUES, G.S., SILVA, J.L., “Interaction Between a Lateritic Soil and a Non-woven Geotextile in Different Moisture Conditions”, *Frontiers in Built Environment*, v. 6, 116, 2020.

- [4] OGUNDARE, D.A., FAMILUSI, A.O., OSUNKUNLE, A.B., *et al.*, “Utilization of Geotextile for Soil Stabilization”, *American Journal of Engineering Research (AJER)*, v. 7, pp. 224-231, 2018.
- [5] ORIOKOT, J., ZANNONI, E., “Reinforcement of pavement subgrade using granular fill and a geosynthetic layer”, *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, v. 4, pp. 2349-2163, 2015.
- [6] VALENTIN, C.A., DA SILVA, J.L., KOBELNIK, M., *et al.*, “Thermoanalytical and dynamic mechanical analysis of commercial geomembranes used for fluid retention of leaching in sanitary landfills”, *J Therm Anal Calori*, v. 136, pp. 471-481, 2019.
- [7] BUENO, B.S., VILAR, O.M., “Propriedades, ensaios e normas”, In: Vertematti, J.C. (ed), *Manual Brasileiro de Geossintéticos*. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. pp. 47-85.
- [8] COSTA, C.M.L., LODI, P.C., COSTA, Y.D.J., *et al.*, “Avaliação de recomendações normativas sobre o uso de ensaios no controle de qualidade de fabricação de geossintéticos”, *Polímeros*, v. 18, n. 2, pp. 158-169, 2008.
- [9] BANDEIRA, M.D.O., SILVA, L.C.A.F.M., *Evolução do emprego de geossintéticos em obras rodoviárias nos últimos 20 anos*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil), Universidade Federal Rural do Semiárido, Caraúbas, 2019.
- [10] KOERNER, R.M., *Designing with geosynthetics*. 1 ed. Bloomington: Xlibris Corporation, 2012.
- [11] VERTEMATTI, J.C., *Manual Brasileiro de Geossintéticos*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2015.
- [12] BENJAMIN, C.V.S., *Avaliação experimental de protótipos de estruturas de contenção em solo reforçado com geotêxtil*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- [13] MENDES, M.J.A., PALMEIRA, E.M., MATHEUS, E., “Some factors affecting the insoil load-strain behaviour of virgin and damaged nonwoven geotextiles”, *Geosynthetics International*, v. 14, pp. 39-50, 2007.
- [14] PALMEIRA, E.M., “Soil-geosynthetic interaction: modelling and analysis”, *Geotextiles and Geomembranes*, v. 27, pp. 368-390, 2009.
- [15] ANIL, B., JIE H., “Investigation of geotextile-soil interaction under a cyclic vertical load using the discrete element method”, *Geotextiles and Geomembranes*, v. 28, pp. 33-43, 2010.
- [16] WANG, L., ZHANG, G. ZHANG, J.M., “Centrifuge model tests of geotextile-reinforced soil embankments during an earthquake”, *Geotextiles and Geomembranes*, v. 29, pp. 222-232, 2011.
- [17] SHEN, C., FAN, K., LIU, S., *et al.*, “A simple unified stress-strain model for geotextile-wrapped soils”, *Geotextiles and Geomembranes*, v. 49, pp. 697-706, 2021.
- [18] MATSUOKA, H., LIU, S.H., “New Earth Reinforcement Method by Soilbags (“Donow”)”, *Soils and Foundations*, v. 43, pp. 173-188, 2003.
- [19] NITHIN, S., SAYIDA, M.K., SHEELA EVANGELINE, Y., “Experimental investigation on coir geotextile reinforced subgrade”, In: *Indian Geotechnical Conference*, New Delhi, 2012.
- [20] GÓNGORA, I.A.M.G., PALMEIRA, E.M., “Assessing the Influence of Soil-Reinforcement Interaction Parameters on the Performance of a Low Fill on Compressible Subgrade. Part II: influence of surface maintenance”, *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, v. 2, 2, 2016.
- [21] EDIL, T.B., BOSSCHER, P.J., SUNDBERG, A.J., “Soil-Structure Interface Shear Transfer Behavior”, In: *Second Japan-U.S. Workshop on Testing, Modeling, and Simulation in Geomechanics*, pp. 528-543, Kyoto, 2005.
- [22] PRAVEEN, G.V., KURRE, P., “Large direct shear testing to evaluate the interaction behaviour of murrum soil and geosynthetics for the reinforced soil construction”, *Materials Today: Proceedings*, v. 39, n. 1, pp. 500-503, 2020.
- [23] KAMALZARE, M., ZIAIE-MOAY, R., “Influence of geosynthetic reinforcement on the shear strength characteristics of two-layer sub-graden”, *Acta Geotechnica Slovenica*, v. 1, pp. 39-49, 2011.
- [24] VANGLA, P., LATHA, G.M., “Influence of Particle Size on the Friction and Interfacial Shear Strength of Sands of Similar Morphology”, *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, v. 1, 6, 2015.
- [25] DENINE, S., DELLA, N., DLAWAR, *et al.*, “Effect of Geotextile Reinforcement on Shear Strength of Sandy Soil: Laboratory Study”, *Studia Geotechnica et Mechanica*, v. 38, n. 4, pp. 3-13, 2017.
- [26] FERREIRA, F.B., *Comportamento das interfaces solo-geossintético*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Porto, Porto, 2010.

- [27] LOPES, M.L., “Soil–geosynthetic interaction”, In: Shukla, S.K. (ed), *Handbook of Geosynthetic Engineering*. London: ICE Publishing, 2016. pp. 45-66.
- [28] LOPES, M.L. *Geossintéticos - Apontamentos de apoio às aulas de Geossintéticos*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2002.
- [29] ELIAS, V., CHRISTOPHER, B.R., BERG, R.R., *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design & Construction Guidelines*. 43 ed. Washington: U.S. Department of Transportation, 2001.
- [30] AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (ASSHTO). *M 145 - 91: Standard Specification for Classification of Soil sand Soil Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*. Washington: ASSHTO, 2008.
- [31] BERG, B.R., CHRISTOPHER, B.N., SAMTANI., *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines*. 43 ed. Washington: Federal Highway Administration, 2001.
- [32] ESMAILI D., HATAMI K., MILLER G.A., “Influence of matric suction on geotextile reinforcement-marginal soil interface strength”, *Geotextiles and Geomembranes*, v. 42, n. 2, pp. 139-153, 2014.
- [33] PATIAS, J., *Avaliação do uso de solos não convencionais em estruturas de solo reforçado*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- [34] BENJAMIM, C.V.S., BUENO, B.S., ZORNBERG, J.G., “Field monitoring evaluation of geotextile-reinforced soil-retaining walls”, *Geosynthetics International*, v. 14, n. 2, pp. 100-118, 2007.
- [35] JOTISANKASA, A., RURGCHASRI, N., “Shear strength of interfaces between unsaturated soils and composite geotextile with polyester yarn reinforcement”, *Geotextiles and Geomembranes*, v. 46, n. 3, pp. 338-353, 2018.
- [36] SINGH, M., TRIVEDI, A., SHUKLA, S.K., “Unpaved test sections reinforced with geotextile and geogrid”, *Materials Today: Proceedings*, v. 32, n. 4, pp. 706-711, 2020.
- [37] PALMEIRA, E.M., *Utilização de geotêxteis como reforço de aterros sobre solos moles*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1981.
- [38] BUENO, B.S., COSTANZI, M.A., ZORNBERG, J.G., “Conventional and accelerated creep tests on non-woven needle-punched geotextiles”, *Geosynthetics International*, v. 12, n. 6, pp. 276–287, 2005.
- [39] BECKER, L., NUNES, A.L.L.S., “Influence of soil confinement on the creep behavior of geotextiles”, *Geotextiles and Geomembranes*, v. 43, n. 4, pp. 351-358, 2015.
- [40] JONES, C.J.F.P., “Geosynthetics in reinforced structures”, In: *Second European Geosynthetics conference*, Bologna, 2000.
- [41] MENDES, M.J.A., ARAÚJO, G.L.S., PALMEIRA, E.M., “Previsão de deformações em muros de solos reforçados com geotêxteis utilizando valores de rigidez obtidos em laboratório para condições de confinamento”, In: *CMNE/CILAMCE*, Porto, 2007.
- [42] ZHENG, G., YU, X., ZHOU, H., *et al.*, “Influence of geosynthetic reinforcement on the stability of an embankment with rigid columns embedded in an inclined underlying stratum”, *Geotextiles and Geomembranes*, v. 49, n. 1, pp. 180-187, 2021.
- [43] MONTE, L.A.C., *Reforço de estradas não pavimentadas com geossintéticos: requisitos geotécnicos e métodos de dimensionamento*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Porto, Porto, 2016.
- [44] SIEIRA, A.C.C.F., *Estudo experimental dos mecanismos de interação solo-geogrelha*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- [45] TEIXEIRA, S.H.C., *Estudo da interação solo-geogrelha em testes de arrancamento e a sua aplicação na análise e dimensionamento de maciços reforçados*. Tese (Doutorado em Geotecnia), Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 2003.
- [46] FERREIRA, J.A.Z., *Estudo do reforço de pavimentos com ensaios de arrancamento em equipamento de pequenas dimensões*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2007.
- [47] OLIVEIRA, L.A., VIANA, P.M.F., SANTOS, D.C.R., *et al.*, “Uso de geossintéticos como reforço em estradas não pavimentadas”, *Engenharia Agrícola*, v. 36, n. 3, pp. 546-557, 2016.
- [48] KAKUDA, F.M., *Estudos de Ensaios de arrancamento de geogrelha com utilização de equipamento reduzido*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

- [49] GONZALEZ-TORRE, I., CALZADA-PEREZ, M.A., VEGA-ZAMANILLO, A., *et al.*, “Experimental study of the behaviour of different geosynthetics as anti-reflective cracking systems using a combined-load fatigue test”, *Geotextiles and Geomembranes*, v. 43, n. 4, pp. 345-350, 2015.
- [50] ROBINSON, W.J., *Characterization of geosynthetic reinforced airfield pavements at varying scales*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Mississippi State University, Starkville, 2020.
- [51] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- [52] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 6457: Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- [53] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 7181: Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- [54] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). *ME 093: Solos - Determinação da densidade real*. Rio de Janeiro: DNER, 1994.
- [55] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- [56] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- [57] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 6502: Rochas e solos*. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- [58] AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS (ASTM). *D 2487 - 11: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. West Conshohocken: ASTM, 2011.
- [59] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). *CLA ME 259: Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura*. Rio de Janeiro: DNER, 1996.
- [60] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- [61] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 12770: Solo coesivo – determinação da resistência à compressão não confinada*. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- [62] AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS (ASTM). *D3080 / D3080M-11: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. West Conshohocken: ASTM, 2011.
- [63] PIEROZAN, R.C., *Estudo da resistência de interface de tiras metálicas e poliméricas em diferentes solos*. Tese (Doutorado em Geotecnia), Universidade Federal do Brasília, Brasília, 2018.
- [64] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE (DNIT). *Manual de Pavimentação*. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.
- [65] NETTERBERG, F., *Review of Specifications for the Use of Laterite in Road Pavements*. 1 ed. South Africa: ASANRA, 2014.
- [66] FREITAS, C.M., TSUHA, C.H.C., VILAR, O.M., “Briefing: Compacted soil columns for collapsible lateritic soil improvement”, *Ground Improvement*, v. 170, n. 4, pp. 186-192, 2017.
- [67] NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F., “A new soil classification for road engineering purposes”, In: *Brazilian Symposium on Tropical Soils*, pp. 30- 40, Rio de Janeiro, 1981.
- [68] GERSCOVICH, D.M.S., *Estruturas de Contenção: Muros de Arrimo*. 1 ed. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2010.
- [69] PORTELINHA, F.H.M., *Avaliação experimental da influência do avanço do umedecimento no comportamento de muros de solos finos reforçados com geotêxteis não tecidos*. Tese (Doutorado em Geotecnia), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- [70] PLÁCIDO, R.R., *Análises de campo e laboratório do comportamento ao longo do tempo de muros de solos tropicais finos reforçados com geossintéticos*. Tese (Doutorado em Engenharia Geotécnica), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.



- [71] NAEINI, S.A., MIRZAKHANLARI, M., “The Effect of Geotextile and Grading on the Bearing Ratio of Granular Soils”, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, v. 13, pp. 2-10, 2009.
- [72] SILVA, A.E.F., MONTEZ, F.T., “Aterros reforçados: Parâmetros de projeto relevantes da geogrelha”, In: *IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos*, Porto Alegre, 2003.
- [73] PINHO-LOPES M., LOPES M.L., “Soil-geosynthetic interaction in inclined-plane shear and geosynthetic short-term tensile response – Influence of installation damage”, *Construction and Building Material*, v. 274, 122018, 2021.
- [74] CLANCY, J., NAUGHTON, P.J., “Pullout resistance of a novel multifunctional geosynthetic in fine grained marginal fills”, In: *IX International Conference on Geosynthetics*, pp. 679-682, Sligo, 2010.
- [75] AFONSO, M.R.F.L., *Ensaio De Corte Directo Na Caracterização Da Interface Solo-Geossintético: efeito da variação da tensão normal*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Porto, Porto, 2009.
- [76] RAMAIAH, B.J., RAMANA, G.V., DATTA, M., “Mechanical characterization of municipal solid waste from two waste dumps at Delhi, India”, *Waste Management*, v. 68, pp. 275-291, 2017.