

COMPORTAMENTO GEOMECÂNICO DE UM SOLO RESIDUAL DE LAMITO COMPACTADO NA ENERGIA PROCTOR INTERMEDIÁRIA COM A ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Diones Barboza

Eng. Civil/Pesquisador – Pontifícia Universidade Católica do RS - PUCRS
diones.barboza@acad.pucrs.br

Luigi Nascimento Pelizzoli

Acadêmico do curso de Engenharia Civil – Pontifícia Universidade Católica do RS - PUCRS
luigi.pelizzoli@edu.pucrs.br

Luiza Keller Fragomeni

Eng. Civil/Pesquisadora – Pontifícia Universidade Católica do RS - PUCRS
lkfragomeni@gmail.com

Eduardo Frarre Santini

Acadêmico do curso de Engenharia Civil – Pontifícia Universidade Católica do RS - PUCRS
eduardo.santini@edu.pucrs.br

Lysiane Menezes Pacheco

Docente/Pesquisadora – Pontifícia Universidade Católica do RS - PUCRS
lysiane.pacheco@pucrs.br

Cleber de Freitas Floriano

Docente/Pesquisador – Pontifícia Universidade Católica do RS - PUCRS
cleber.floriano@pucrs.br

Gracieli Bordin Colpo

Docente/Pesquisadora – Pontifícia Universidade Católica do RS – PUCRS
gracieli.colpo@pucrs.br

Resumo. *O presente trabalho tem como objetivo o estudo do comportamento geomecânico de um solo residual de lamito compactado na energia Proctor Intermediária com a adição de fibras de polipropileno, sendo motivado devido à necessidade constante de se buscar métodos de melhoramento das características de resistência de solos naturais para o emprego em obras de terra. A amostra de solo utilizada neste estudo foi retirada de uma jazida nas proximidades do município de Gravataí/RS. Foram conduzidos ensaios de caracterização do solo (massa específica real dos grãos, granulometria e limites de Atterberg), ensaios de compactação e ensaio de cisalhamento direto com CPs de solo puro e solo com adição de fibras em taxas de 0,5% e 1,0% relativos à massa de solo seco. Os ensaios indicaram que a adição de 0,5% de fibras*

proporcionou um ganho de resistência ao solo, enquanto a adição de 1% ocasionou a perda de resistência.

Palavras-chave: *Comportamento Geomecânico. Cisalhamento Direto. Fibras de Polipropileno.*

1. INTRODUÇÃO

A engenharia geotécnica vive em constante busca por formas de promover melhoramentos do solo natural, o que representa, de modo geral, aprimorar as propriedades mecânicas do solo através do aumento da sua resistência e da diminuição da compressibilidade e da permeabilidade (CASAGRANDE, 2001). Isso ocorre, pois, cada solo apresenta características distintas, as

quais muitas vezes não atendem às demandas dos projetos, culminando em necessidade de alguma forma de estabilização/reforço para que ele alcance a resistência desejada.

Um dos métodos que mais evoluiu nos últimos anos foi o tratamento de solo com inclusões, ou seja, alteração das características de um solo natural por meio da adição de um material de natureza distinta, tais como barras, geotêxteis, grelhas e fibras. Diferente das demais, as fibras podem ser distribuídas de forma tridimensional e aleatória pelo solo, interferindo diretamente na propagação de fissuras e suprimindo os planos potenciais de fraqueza (TEODORO, 1999). Atualmente há uma variedade de fibras disponíveis no mercado (vegetais, minerais, de aço e poliméricas), dado que seu emprego na construção civil se tornou relativamente comum.

Dentre estas, as fibras poliméricas destacam-se devido ao bom desempenho aliado ao baixo custo, motivos pelos quais vêm sendo amplamente empregadas como reforço em argamassas de concreto, onde foi evidenciado significativo aumento de durabilidade das edificações (OLIVEIRA, 2001). Contudo, nos últimos anos são desenvolvidas pesquisas envolvendo a utilização de fibras poliméricas como forma de tratamento de solo, as quais têm apresentado resultados satisfatórios (FEUERHARMEL, 2000).

Nota-se que existem diversos trabalhos sobre o tema solo-fibra que são feitos com solo compactado empregando energia Proctor Normal, onde se verifica um ganho expressivo do intercepto coesivo e não tão expressivo em relação ao ângulo de atrito interno. Neste contexto, é proposto aqui um estudo sobre o tema utilizando energia de compactação Proctor Intermediária.

Assim, baseando-se em estudos prévios com fibras poliméricas obtidas a partir do polipropileno, o presente trabalho tem como objetivo a análise do comportamento geomecânico a partir de ensaios de

cisalhamento direto em um solo residual de lamito compactado na energia Proctor Intermediária com a adição de fibras de polipropileno.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

As fibras de polipropileno destacam-se pelo fato de possuírem comportamento termoplástico, ou seja, deforma-se com o aumento de temperatura, e por possuírem baixo módulo de elasticidade, característica que as tornam um eficiente reforço desde as primeiras horas de carregamento (TANESI & AGOPYAN, 1997). A inserção de fibras torna o solo mais dúctil, garantindo um ganho de resistência mecânica e evitando rupturas abruptas (CONSOLI & FESTUGATO, 2015). Isso ocorre, pois, quando as fibras são submetidas aos esforços de tração, esse esforço é transferido para o solo ocorrendo uma redistribuição das tensões e deformações no interior da massa de solo (CASAGRANDE, 2001).

Portanto, o bom desempenho do reforço não depende apenas das propriedades da fibra, mas da sua interação com o solo. Em relação aos mecanismos de interação Solo-Fibra, as fibras somente estarão exercendo seu papel na massa de solo assim que esta massa sofrer deformações devido aos esforços externos, sendo a efetividade dependente direta da distribuição das deformações e características de deformação do solo, os quais dependem do tipo de esforço aplicado (McGOWN *et al.*, 1978). Segundo Casagrande (2001), existe dois tipos de reforços: (i) inextensíveis, quando as deformações de ruptura são menores no compósito Solo-Fibra do que a máxima deformação de tração do solo sem inclusões de fibras, e; (ii) extensíveis, quando as deformações de ruptura são maiores no compósito Solo-Fibra do que a máxima deformação de tração do solo sem inclusões de fibras.

Diversos estudos demonstram que a quantidade ótima de fibras varia, na maioria

das vezes, entre 0,5 a 1,0% por massa de solo seco. De acordo com Anagnostopoulos *et al.* (2014), teores mais elevados tendem a formar aglomerações de fibras de baixa densidade, as quais formam uma área de baixa resistência e comprometem a qualidade do reforço. Pfeifer (2017) apresenta resultados de envoltórias de resistência ao cisalhamento de diferentes

trabalhos sobre adição de fibra de polipropileno em solos (FEUERHARMEL, 2000; TRINDADE *et al.*, 2004; BONAFÉ, 2004). Esses resultados, apresentados na Fig. 1, foram utilizados como parâmetros para a proposta desse estudo.

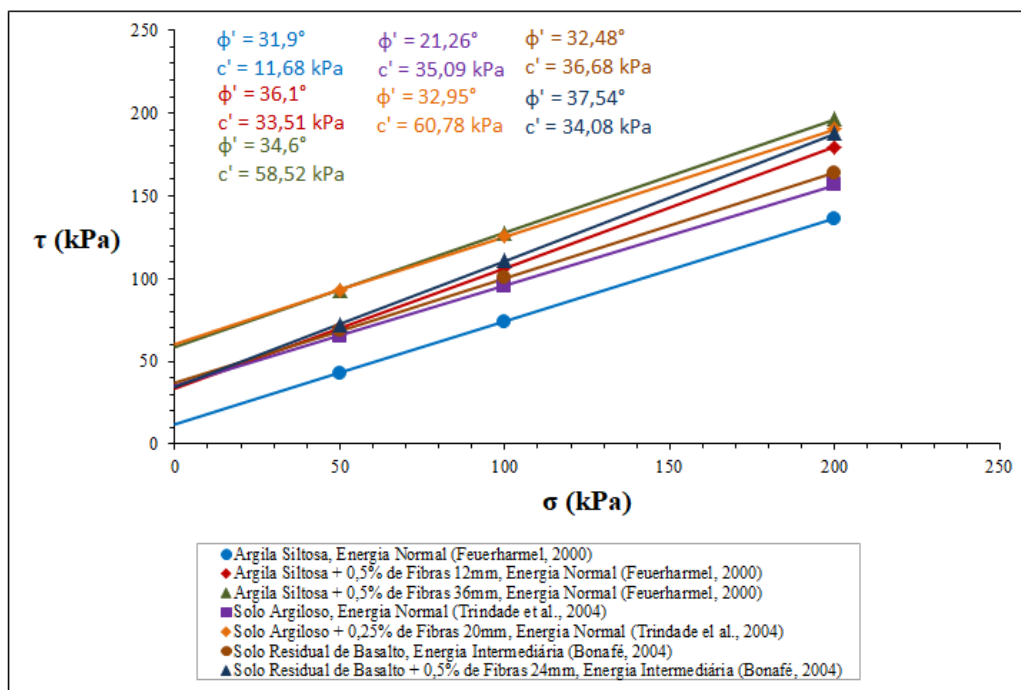


Figura 1. Resultados de envoltória de resistência de outros autores

Fonte: Adaptado de Pfeifer, 2017

3. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo apresenta-se a caracterização do solo e das fibras de polipropileno utilizadas. Também são apresentados os procedimentos realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) da PUCRS, onde foram conduzidos ensaios para a caracterização das propriedades físicas do solo estudado e seu desempenho de resistência ao cisalhamento quando compactado na energia Proctor Intermediária em seu estado puro e com a adição de fibras em taxas de 0,5% e 1,0% relativas à sua massa seca.

3.1. Amostra de solo

A amostra de solo utilizada neste estudo foi coletada em uma jazida nas proximidades do município de Gravataí/RS, onde é extraído o material de empréstimo para a construção de um aterro de aproximação do viaduto localizado entre a RS-118 com a RS-020. Em termos pedológicos, trata-se de um argissolo vermelho-amarelo o qual apresenta perfil com gradiente textural com o horizonte B significativamente argiloso com presença de óxidos e hidróxidos de ferro, o que garante uma coloração bem avermelhada. Em termos geológico-geotécnicos, é um solo residual

maduro de lamito proveniente da formação de rochas sedimentares Rio do Rasto. O solo utilizado nos ensaios é composto por uma combinação dos horizontes A e C.

3.2. Fibra de polipropileno

Foram utilizadas no presente trabalho fibras de polipropileno FibroMac® como elemento de reforço no solo. Estas fibras possuem 12mm de comprimento e 18 μ m de diâmetro, com massa específica de 0,91g/cm³, temperatura de fusão de 160°C, resistência à tração de 300MPa e módulo de elasticidade de 3000MPa, de acordo com dados apresentados no catálogo da empresa Maccafferri do Brasil, a qual forneceu o produto. Estas fibras são amplamente usadas na construção civil para evitar a fissuração do concreto e são produzidas pelo processo de extrusão. A Fig. 2 apresenta a fibra utilizada no presente trabalho.



Figura 2. Fibra de polipropileno utilizada

3.3. Ensaio de caracterização

Para a determinação da massa específica real dos grãos do solo, foram empregados os procedimentos determinados na NBR 6457/2016.

A realização do ensaio e análise da curva granulométrica do solo foram feitos com base na NBR 7181/2016 e NBR 6502/1995, com os

ensaios conduzidos com e sem a utilização de defloculante, com o objetivo de analisar o comportamento hidráulico do solo. A utilização do defloculante tem como finalidade definir a curva real dos grãos. Entretanto, como as argilas se unem em grumos, solos argilosos podem apresentar comportamento hidráulico diferente da expectativa da curva. A curva granulométrica sem a utilização de defloculante, quando comparada com a curva real com defloculante, tem como propósito o de conhecer o tamanho desses grumos.

Quanto aos Limites de Atterberg, os ensaios de Limite de Liquidez e de Limite de Plasticidade foram executados conforme os procedimentos das normas NBR 6459/2017 e NBR 7180/2016 respectivamente.

3.4. Ensaio de compactação

Na preparação para os ensaios de compactação, as amostras foram previamente destorroadas e secas ao ar por no mínimo 24h. Os ensaios de compactação foram realizados com base nos procedimentos da NBR 7182/2016, os quais foram conduzidos com a energia Proctor Intermediária com reuso de material a cada ponto da curva, com molde de volume aproximado de 1000cm³. Os ensaios foram realizados com três tipos de misturas distintas: (i) solo puro; (ii) solo + 0,5% de fibras de polipropileno; (iii) solo + 1,0% de fibras de polipropileno. A Fig. 3 ilustra o aspecto da mistura solo-fibra realizada nos ensaios de compactação do presente estudo.



Figura 3. Mistura solo-fibra

Ao adicionar as fibras, buscou-se sempre alcançar uma mistura mais homogênea possível. Para tanto, foram desfeitos os aglomerados de fibra previamente à adição ao solo. Nos ensaios, a adição de água ocorreu de forma gradual, até todo o conjunto solo-fibra ter o mesmo aspecto de umidade e coloração homogênea.

3.5. Ensaio de cisalhamento direto

O ensaio de cisalhamento direto é o mais antigo para a determinação da resistência de um solo ao cisalhamento, sendo muito prático de ser executado em relação ao ensaio de compressão triaxial, principalmente quando se quer medir simplesmente a resistência do solo (HACHICH *et al.*, 2002).

Para o presente trabalho, os ensaios foram executados com base na norma ASTM D3080 (ASTM, 1990), em um conjunto de 9 CPs compactados na energia Proctor Intermediária, sendo: (i) 3 CPs com solo puro; (ii) 3 CPs para solo com adição de 0,5% de fibras de polipropileno e; (iii) 3 CPs para solo com adição de 1% de fibras de polipropileno.

O ensaio de cisalhamento direto é um ensaio que fornece valores em termos de pressões efetivas. Entretanto, não mede valores de poro-pressão desenvolvidos durante o ensaio. Neste sentido, a velocidade de ensaio deve ser definida de forma que os excessos de

poro-pressão sejam adequadamente dissipados durante o ensaio (ensaio drenado). No presente trabalho, o solo utilizado apresenta baixa permeabilidade, sendo necessária a execução do ensaio com velocidade menor para não ter excessos de poro-pressões na amostra. A velocidade de ensaio de cisalhamento direto pode ser determinada levando em conta características de deformação para cada tipo de solo, com parâmetros que podem ser obtidos em ensaios edométricos. Na ausência dos resultados desses ensaios, como é o caso desse trabalho, a norma ASTM D-3080 (ASTM, 1990) sugere que a velocidade de ensaio possa ser definida levando em conta as características físicas do solo e o nível de consolidação que a amostra possui, seguindo a Eq. (1):

$$T_d = \frac{d_f}{t_f} \quad (1)$$

Onde:

T_d = Taxa de deslocamento [mm/min];

d_f = Deslocamento lateral relativo

estimado na falha [mm];

t_f = Tempo mínimo estimado para falha [min].

A norma sugere que para solos consolidados, o qual foi considerado no presente trabalho, o valor estimado de deformação lateral (d_f) é 10 mm. A Tab. 1, retirada da norma, associa o tempo mínimo necessário para interrupção do ensaio (t_f) para diferentes tipos de solos.

Tabela 1. Tempo mínimo para interrupção do ensaio para diferentes tipos de solos

Classificação SUCS	Tempo Mínimo para Falha t_f
SW, SP (<5% de finos)	10 min
SW-SM, SP-SM, SM (>5% de finos)	60 min
SC, ML, CL, SP-SC	200 min
MH, CH	24h

Fonte: ASTM, 1990

Considerando argila inorgânica medianamente plástica, com $LL < 50\%$, considerou-se tempo mínimo de interrupção do ensaio como 200 min, resultando em uma velocidade de ensaio de 0,05 mm/min.

Todos os CPs foram moldados com energia Intermediária e na umidade próxima da ótima, a qual foi verificada e validada para cada rompimento. As tensões normais definidas para o ensaio foram de 50kPa, 100kPa e 200kPa. Como critério para fim do ensaio, foi determinado deformação de 10% do diâmetro da amostra (5mm).

Procurou-se retirar as amostras na lateral do CP moldado a fim de reduzir a probabilidade de interferência dos planos de fraqueza devido às camadas compactadas, o que poderia interferir na etapa de consolidação e também no próprio resultado final do ensaio. A Fig. 4 ilustra um dos corpos de prova esculpido para o ensaio de cisalhamento direto em uma amostra com a adição de 0,5% de fibra.



Figura 4. Anel moldado com 0,5% de Fibra para Cisalhamento Direto

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ensaio de massa específica real dos grãos apresentou resultado de 2,73 g/cm³ para o solo utilizado. Em relação ao ensaio de granulometria, foram executados ensaios com e sem defloculante. A Fig. 5 mostra as curvas granulométricas obtidas nos ensaios.

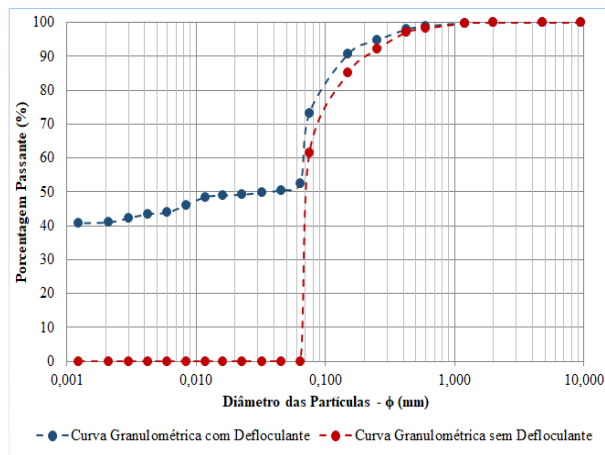


Figura 5. Curvas granulométricas com e sem defloculante

Com base na interpretação da curva granulométrica com defloculante e especificações da NBR 6502/1995, o solo estudado classifica-se como uma areia argilo-siltosa. Salienta-se que uma amostra proveniente de solo residual de lamito normalmente apresenta curva granulométrica com percentuais mais acentuados de solos finos. No entanto, o presente solo, na umidade higroscópica, apresenta grumos muito resistentes ao procedimento mecânico de desmanche dos torrões, assim, os fragmentos permanecem em tamanho de areia. Por outro lado, esta granulometria é equivalente à granulometria final na condição compactada, portanto, a resistência é representativa desta granulometria.

A Tab. 2 mostra resumidamente os Limites de Atterberg obtidos nos ensaios.

Tabela 2. Limites de Atterberg

Propriedade	Valor
Limite Liquidez (LL):	48%
Limite Plasticidade (LP):	32%
Índice de Plasticidade (IP):	16%
Índice de Atividade (Ia):	0,37
Índice de Consistência:	2,89

Os ensaios indicaram que o solo estudado é uma argila inativa medianamente plástica de consistência dura.

Em relação ao ensaio de compactação na energia Proctor Intermediária, os resultados estão resumidamente apresentados na Tab. 3.

Tabela 1. Resumo do ensaio de compactação realizado

Ensaio	Material	γ_d (kN/m ³)	h_{ot} (%)
Proctor Intermediária	Solo Puro	16,8	21,2
	Solo + 0,5% Fibra	16,1	23,0
	Solo + 1% Fibra	16,0	23,7

Com a adição de fibras, evidenciou-se uma maior retenção da água e um maior índice de vazios em relação à amostra ensaiada de solo puro. Como consequência, houve também o aumento da umidade ótima e a diminuição do peso específico aparente seco a cada incremento de fibras. Tal diminuição ocorre por conta da substituição de partículas de solo

pela água e pela fibra, as quais são mais leves quando comparadas ao solo.

Em relação aos resultados dos ensaios de cisalhamento direto, a Tab. 4 apresenta resumidamente os valores obtidos.

Tabela 4. Resultados para o ensaio de cisalhamento direto.

Material	Ângulo de atrito interno (ϕ') (graus)	Intercepto coesivo (c') (kPa)
Solo Puro	17,2	57,9
Solo + 0,5% de fibra	35,0	34,3
Solo + 1,0% de fibra	13,8	48,6

As curvas de tensões cisalhantes versus deslocamento horizontal e deslocamento vertical versus deslocamento horizontal, obtidas nos ensaios de cisalhamento direto, estão apresentadas entre as Figs. 6 a 8. Na Fig. 9 estão apresentadas as envoltórias de ruptura obtidas nos ensaios de cisalhamento direto.

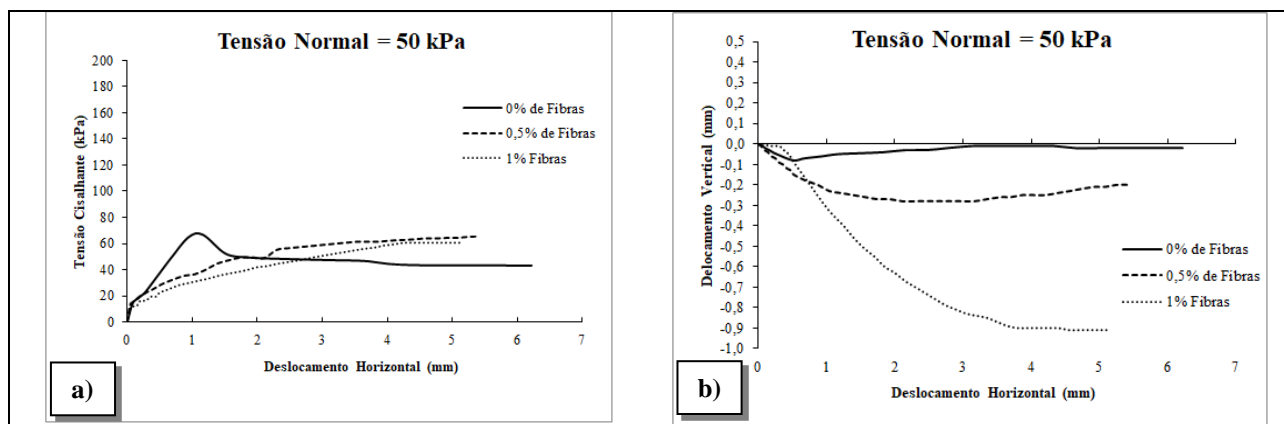


Figura 6. Curvas obtidas nos ensaios de cisalhamento direto para $\sigma_v' = 50\text{kPa}$: a) tensões cisalhantes x deslocamento horizontal; b) deslocamento vertical x deslocamento horizontal

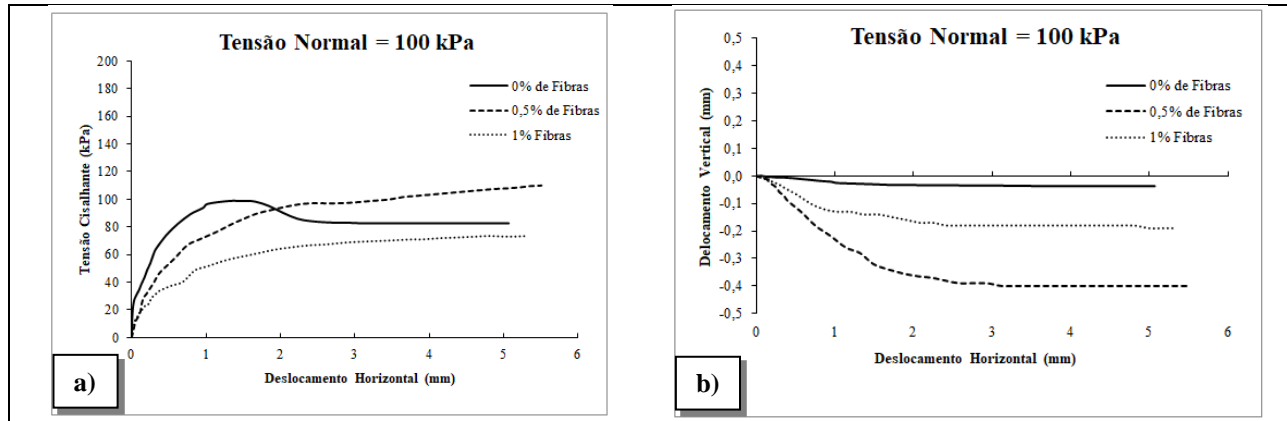


Figura 7. Curvas obtidas nos ensaios de cisalhamento direto para $\sigma_v' = 100\text{kPa}$: a) tensões cisalhantes x deslocamento horizontal; b) deslocamento vertical x deslocamento horizontal

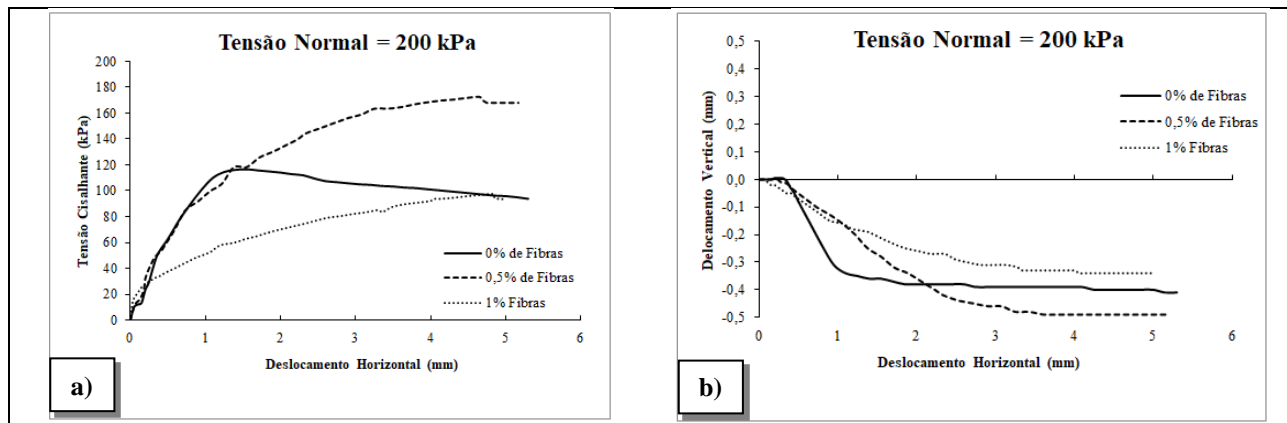


Figura 8. Curvas obtidas nos ensaios de cisalhamento direto para $\sigma_v' = 200\text{ kPa}$: a) tensões cisalhantes x deslocamento horizontal; b) deslocamento vertical x deslocamento horizontal

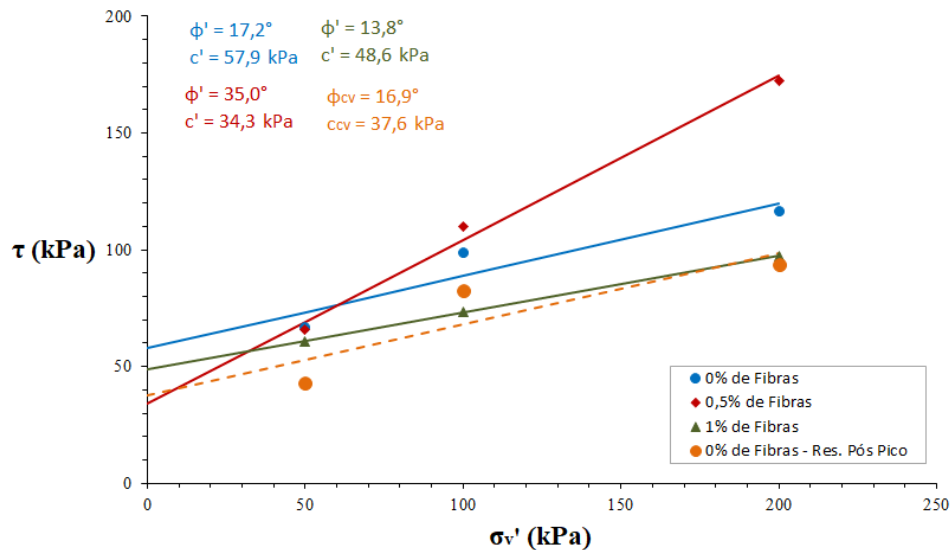


Figura 9. Envoltória de ruptura no gráfico de tensão cisalhante x tensão vertical

Observa-se nas curvas de tensões cisalhantes versus deslocamento horizontal que o CP com solo sem adição de fibras apresentou pico de resistência ao cisalhamento seguido de comportamento pós pico para todas as tensões verticais aplicadas, indicando comportamento de ruptura frágil. Já os demais CPs, com adições de fibras, apresentaram tendência de aumento de resistência ao cisalhamento com o aumento do deslocamento horizontal, indicando comportamento de ruptura dúctil, corroborando com a literatura técnica. Todavia, o CP com adição de 1,0% de fibras apresentou tendência de resistência ao cisalhamento equivalente à resistência pós pico do solo sem adição de fibras. Já em relação ao CP com a adição de 0,5% fibras, observa-se que a ruptura se dá com tensões cisalhantes e deformações maiores quando comparado com o CP de solo sem a adição de fibras.

Em relação às curvas de deslocamento vertical versus deslocamento horizontal, observa-se que todos os CPs apresentaram comportamento de contração para todas as tensões verticais aplicadas. Em relação ao deslocamento vertical, percebe-se menor deslocamento para tensão vertical de 50 kPa do que para as demais tensões aplicadas, com exceção do CP com solo sem adição de fibras, o qual teve pequeno deslocamento vertical no ensaio com tensão vertical de 100 kPa também. Ainda em relação ao deslocamento vertical, o CP com solo com a adição de 1,0% de fibras teve deslocamento consideravelmente maior em relação aos demais no ensaio com a aplicação de tensão vertical de 50kPa. Já no ensaio com a aplicação de tensão vertical de 200 kPa, todos os CPs permaneceram com a mesma ordem de grandeza de deslocamento.

A partir da interpretação dos resultados obtidos no gráfico de tensões cisalhantes versus deslocamento horizontal, foi possível definir as envoltórias de rupturas de pico em termos de tensões efetivas (Fig. 9). Observa-se que a inserção de 0,5% no CP moldado na

energia Proctor Intermediária conferiu um ganho expressivo de 103% de ângulo de atrito interno, diferentemente dos resultados obtidos por outros autores com a adição de fibras em CPs moldados com energia Proctor Normal, os quais encontraram pequenos aumentos em termos de ângulo de atrito interno. Todavia, para o mesmo CP, observa-se que há redução do intercepto coesivo em 41%. Bonafé (2004) conduziu ensaios com um solo residual de basalto com a adição de 0,5% de fibras de 24mm compactados na energia Proctor Intermediária, obtendo aumento de 15,58% de ângulo de atrito, porém, a exemplo do comportamento observado no presente trabalho, houve redução do intercepto coesivo (7,10 %). Em relação à adição de 1,0% de fibras no solo, observa-se que não houve ganho de resistência, e sim redução de todos os parâmetros, aproximando-se da resistência pós pico do solo, indicando que a dosagem passou do ideal.

5. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos nos ensaios com solo puro e solo com adição de 0,5% e 1,0% de fibras de polipropileno, é possível tomar as seguintes conclusões quanto ao seu comportamento geomecânico:

- O solo puro compactado na energia Proctor Intermediária apresenta-se com comportamento de ruptura frágil, enquanto a adição de fibras alterou esse comportamento para dúctil, corroborando com informações de literatura técnica. Portanto, a ruptura do compósito solo-fibra ocorre com deformações maiores do que a do solo puro e de forma menos abrupta.
- A adição de 1,0% de fibras fez com que o solo apresente resistência ao cisalhamento equivalente à resistência pós pico do solo sem a adição de fibras;

- Embora haja a redução do intercepto coesivo com a adição de 0,5% de fibras de polipropileno, também houve um ganho bem expressivo do ângulo de atrito interno, o que pode viabilizar o emprego desse reforço em aterros com alturas consideráveis e limitação de espaço devido ao possível aumento da inclinação dos taludes, mesmo diante da redução da coesão. Em uma argila compactada, a coesão é aparente, uma vez que o material foi desestruturado e perdeu a cimentação. Portanto, pode-se concluir que houve aumento da resistência do solo com a adição de 0,5% quando compactado na energia Proctor Intermediária. Já a adição de 1,0% de fibras fez com que a resistência do solo decaísse, aproximando da resistência residual do solo puro nas mesmas condições de compactação. Portanto, a adição de 1,0% de fibras passou da dosagem ideal, tornando o solo menos resistente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 2016.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181: Solo - Ensaio de compactação.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182: Solo – Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3080: Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions.** 2011.

ANAGNOSTOPOULOS, C. A.; TZETZIS, D.; BERKETIS, K. Shear strength behaviour of polypropylene fibre reinforced cohesive soils. **Geomechanics and Geoenvironment: An International Journal.** V.9, n.3, p.241-251, jun 2014.

BERNARDES, J. A. **Investigação Sobre a Resistência ao Cisalhamento de um Solo Residual de Gnaisse.** 2003. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, PPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BONAFÉ, L. **Estudo da resistência de um solo residual de basalto estabilizado e reforçado.** 2004. 101p. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Civil – Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí.

CASAGRANDE, M. D. T. **Estudo do comportamento de um solo reforçado com fibras de polipropileno visando o uso como base de fundações superficiais.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia – Departamento de Engenharia Civil): Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre RS, 2001.

CONSOLI, N. C.; FESTUGATO, L.; VERTEMATTI, J. C. (Org.). **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015. 576 p.

FEUERHARMEL, M. R. **Comportamento de solos reforçados com fibras de polipropileno**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia – Departamento de Engenharia Civil): Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre RS, 2000.

HACHICH, W. **Fundações Teoria e Prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2002. 758 p.

McGOWN, A.; ANDRAWES, K. Z.; AL-HASANI, M. M. **Effect of inclusion properties on the behavior of sand**. Géotechnique, London, v.28, n.3, 1978. P.327-346.

OLIVEIRA, M. L. L. **Influência da adição de fibras de polipropileno em argamassas**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil): Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis SC, 2001.

PFEIFER, E. M. **Análise do comportamento mecânico de um solo residual de arenito reforçado com fibras de polipropileno e compactado em laboratório**. 2017. 26 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

TANESI, J.; AGOPYAN, V. **Compositos reforçados com fibras plásticas para construção civil**. Anais.. São Paulo: EPUSP, 1997.

TEODORO, J. M. **Resistência ao cisalhamento de solos reforçados com fibras plásticas**. 1999. Dissertação (Mestrado em Geotecnia – Departamento de Engenharia Civil): Universidade de São Paulo, São Carlos SP, 1999.

TRINDADE, T. P.; IASBIK, I.; LIMA, D. C. de; SILVA, C. H. C.; BARBOSA, P. S. A. **Latosolo vermelho-amarelo reforçado com fibras de polipropileno de distribuição aleatória: estudo em laboratório**. 2004. p. 53-58. REM: Revista Escola de Minas, v. 57, n. 1, Ouro Preto.