

ESTUDO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO SOLO COM A INCLUSÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Micheli Kaufmann Bianchini

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa
micheli_kaufmann@hotmail.com

Luís Urbano Durlo Tambara Júnior

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa
luistambara@gmail.com

Wagner Dambrós Fernandes

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa
w.dambros@gmail.com

Cleber Millani Rodrigues

Me. Engenheiro Agrícola da Universidade Federal do Pampa
cleberrodrigues@unipampa.edu.br

Magnos Baroni

Professor Assistente da Universidade Federal do Pampa
magnosbaroni@unipampa.edu.br

Resumo. A utilização de fibras como reforço de solos é fundamentada na tecnologia de materiais compósitos, onde se busca criar um novo material com propriedades e características específicas através da combinação de dois ou mais materiais conhecidos. No presente trabalho, foram avaliadas as influências provocadas pela inserção de fibras de polipropileno dispostas aleatoriamente nos teores de 0%; 0,25% e 0,5% e comprimento de 12 mm em amostras de solo. Para avaliar o ganho de resistência, foram moldados corpos de prova na umidade ótima e energia intermediária do ensaio Proctor para todos os traços estudados e posterior realização de ensaios de cisalhamento direto, na condição saturada. A análise dos resultados permitiu a identificação de padrões de comportamento de solos reforçados, sendo possível identificar qual é o quantitativo de fibras responsável pelo maior incremento da resistência do solo em estudo. Foi possível ainda analisar a mudança dos parâmetros de resistência (ângulo de atrito e intercepto coesivo) do solo. Os resultados do trabalho contribuem para a utilização dessa técnica em camadas de base ou até mesmo em

camadas finais de rolamento de estradas vicinais existentes na região Oeste do estado do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: Solo, Fibras de polipropileno, Resistência ao cisalhamento.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Vendruscolo (2003) os métodos de estabilização de solos são classificados em três grupos: estabilização mecânica, física e química. Em substituição da estabilização química, vem sendo estudada a adição de fibras ao solo, com capacidade de suportar a tração.

Para Casagrande (2001), as características almejadas com a inclusão de fibras nem sempre dizem respeito ao aumento da capacidade de suporte do material. Outros aspectos, como maior absorção de energia, queda na redução de resistência pós-pico, maior capacidade de absorver deformações até atingir a resistência última, são exemplos disso.

Neste trabalho será relatada a experiência adquirida para execução da moldagem de amostras deformadas do solo

reforçado com fibras de polipropileno e os primeiros resultados de ensaios de cisalhamento direto com essas amostras.

2. OBJETIVOS

O ensaio de cisalhamento direto é amplamente empregado na determinação de resistência ao cisalhamento dos solos, e se baseia diretamente no critério de Coulomb, Lambe & Whitman, 1979. Uma das grandes dificuldades em avaliar corretamente os valores do ângulo de atrito e da coesão do solo natural e de amostras de solo reforçado é a compactação e moldagem de amostras com boa qualidade. Em se tratando de solo reforçado com a adição de fibras, essas amostras devem ser moldadas no laboratório com energias de compactação recomendadas pelo ensaio de Proctor e a partir destas moldadas os corpos de prova (CP's) para a realização dos ensaios.

3. METODOLOGIA

Inicialmente foram moldados CP's com solo natural e solo melhorado com a inclusão de 0,25% e 0,5% de fibras depolipropileno de comprimento de 12 mm e diâmetro de 18 μm , apresentado o índice aspecto de 667, dispostas aleatoriamente. Para garantir o melhor desempenho do conjunto solo/fibras, as fibras foram espalhadas de forma uniforme dentro das amostras. Foram testados dois métodos de mistura, manual e mecânico. Inicialmente se optou pela mistura manual do material, não atingindo desta forma uma mistura homogênea. Como pode ser visto na Fig. 1(A) a mistura manual fez com que as fibras não abrissem no solo. Já com a utilização de uma batedeira planetária, Fig. 2 (A, B), foram colocadas as porcentagens de solo e fibras, a uma velocidade de 85 RPM por 10 minutos (5 minutos amostra seca + 5 minutos amostra acrescida de água, até chegar à umidade ótima), resultando em uma melhor abertura das fibras e consequentemente em um melhor

entrosamento entre os materiais, Fig.1 (B, C).

Após a realização da mistura solo/fibras, estas foram peneiradas na peneira com abertura de 9,50mm a fim de eliminar os torrões existentes, após foram moldados CP's de 10x20cm na energia Proctor Normal. Esse procedimento foi adotado para simular a compactação real que o conjunto terá no campo.



Figura 1: (A) CP moldado com fibras mal abertas; (B) CP moldado com fibras bem abertas; (C) Detalhe da abertura e distribuição das fibras.

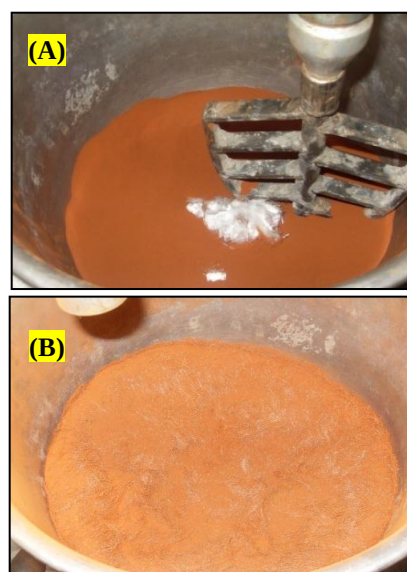


Figura 2: (A) Amostra antes de misturada; (B) Amostra após 10 minutos na batedeira planetária.

A intenção inicial era de que as amostras seriam obtidas de forma indeformada através de compactação dinâmica diretamente no cilindro Proctor. Com esse procedimento não foi possível moldar as amostras indeformadas, pois no momento da cravação do molde no corpo cilindro, este acabava por apresentar grandes fissuras, provenientes do entrosamento das fibras com o solo. Optou-se então pela compactação estática, onde os corpos de prova são obtidos através da prensagem de camadas da amostra dentro da própria célula de ensaio.

Para garantir uma homogeneização do corpo de prova, este foi confeccionado reproduzindo-se a energia de compactação normal do Proctor para um novo volume de solo. Os corpos de prova foram moldados, em uma única camada diretamente na célula bipartida superior da célula de ensaio, Fig.3, obedecendo ao tamanho do amostrador (10 x 10 x 2 cm / comprimento x largura x altura), utilizando 320 gramas de amostra de solo e solo + fibra com um número de 16 golpes, calculado através da Eq. (1). Os golpes foram desferidos sobre o tarugo de madeira no sentido horário para que a carga fosse transmitida igualmente em toda a amostra.

$$EC = \frac{M \cdot H \cdot Ng \cdot Nc}{V} \quad (1)$$

Onde: M: massa do soquete;
 H: altura de queda do soquete;
 Ng: número de golpes por camada;
 Nc: número de camadas;
 V: volume de solo compactado.



Figura 3: Corpo de prova moldado dentro da célula superior com energia normal do Proctor

O ensaio de cisalhamento direto foi executado em uma caixa metálica bipartida, deslizando-se a metade superior do corpo de prova em relação à inferior. As tensões normais utilizadas foram de 25, 50, 100 e 200kPa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Fig. 4 apresenta a distribuição granulométrica do solo, descrito como uma areia silto argilosa, com LL=30%, LP=22% e IP=8%. A umidade ótima da amostra acrescida de fibras manteve-se igual à umidade ótima da amostra de solo natural, que foi de 14%, idem para sua massa específica aparente seca ($\gamma_d = 1,69 \text{ g/cm}^3$). Segundo Klamt (2012), o solo apresenta densidade real dos grãos de $2,66 \text{ g/cm}^3$, grau de saturação de 84% e índice de vazios de 0,3. A Fig. 5 apresenta a curva média de compactação das amostras. Os dados referentes ao ensaio de cisalhamento direto podem ser vistos na Tabela 1 e na Figura 6.

Tabela 1: Ângulo de Atrito (ϕ) e Coesão (kPa)

	Solo + 0% Fibra	Solo + 0,25% Fibra	Solo + 0,5% Fibra
ϕ	29,64	35,27	35,31
Coesão	8	7	9

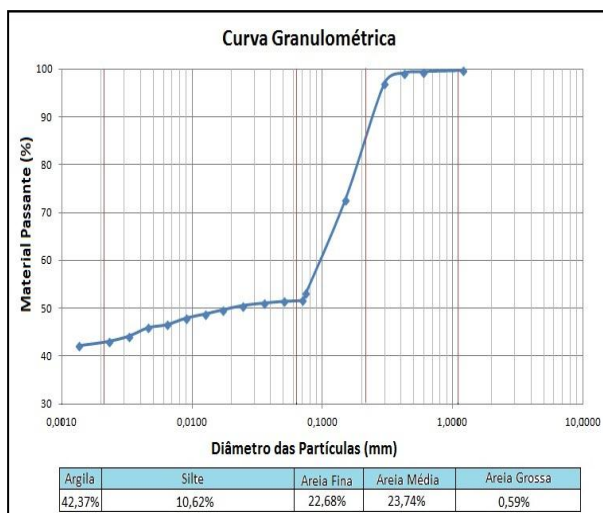


Figura 4: Curva Granulométrica do Solo Natural

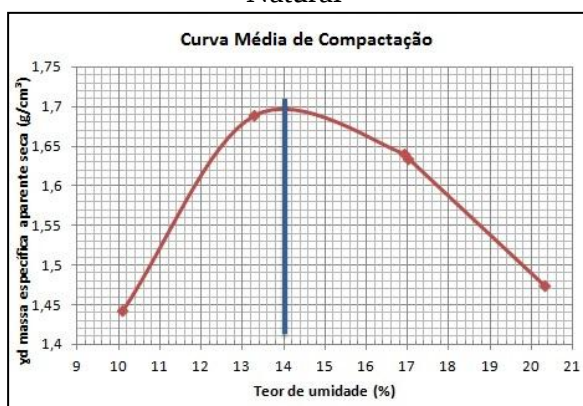


Figura 5: Curva Média de compactação

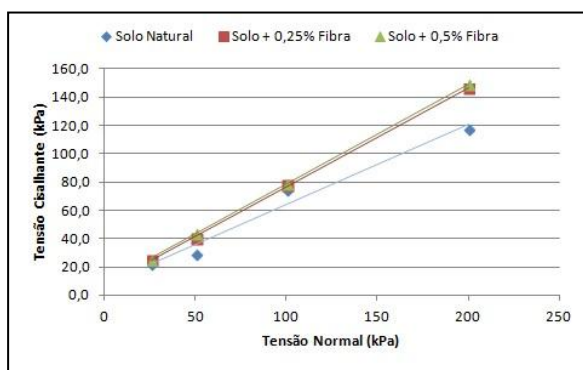


Figura 6: Tensão Cisalhante (kPa) x Tensão Normal (kPa)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostram que houve um acréscimo de resistência ao cisalhamento nas amostras com a inclusão de fibras. O aumento foi proporcional ao acréscimo e fibras à amostra. Percebe-se também uma similaridade entre as envoltórias de

resistência de Mohr-Coulomb obtidas, podendo-se dizer que o método utilizado para a moldagem das amostras foi eficiente, gerando amostras homogêneas e com o mesmo grau de compactação.

No decorrer da pesquisa serão realizados novos ensaios para comprovar a eficiência do sistema de compactação empregado. Serão analisados novos traços com diferentes porcentagens e tamanhos de fibras de polipropileno e novas formas de compactação da amostra para comparação de resultados.

7. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6457**: Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

_. **NBR 6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

_. **NBR 7180**: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

_. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, ABNT, 1984.

_. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, ABNT, 1986.

CASAGRANDE, M.D.T. **Estudo do comportamento de um solo reforçado com fibras de polipropileno visando o uso como base de fundações superficiais**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil): UFRGS. Porto Alegre, 2001.

LAMBE, T. and WHITMAN, R. V. **Soil Mechanics, SI version**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1979. 553p.

VENDRUSCOLO, M.A. **Estudo do comportamento de materiais compósitos fibrosos para aplicação como reforço de base de fundações superficiais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil): UFRGS. Porto Alegre, 2003.

KLAMT, R.A. **Utilização da cal e da cinza da casca de arroz no melhoramento das propriedades geotécnicas dos solos**. Trabalho de Conclusão de Curso): UNIPAMPA. Alegrete, 2012.