

Estudo da viabilidade do uso de fibras naturais como reforço de solos

Hellen Evenyn FONSECA DA SILVA^{a,1}, Caio SOARES CAMARGOS^a,
Matheus VIANA DE SOUZA^a e Ivonne M. A. GONGORA^a

^aUniversidade Católica de Brasília

Resumo. Sabe-se que nas obras de pavimentação as camadas de solo requerem preparo adequado, além de obedecerem aos padrões normativos e também atender às especificações de projeto. No entanto, há vários casos em que o material do solo do local não apresenta características resistentes adequadas. Uma das opções para viabilizar o solo do local é a melhoria da resistência mecânica do mesmo. Pensando nisso, este estudo propõe analisar a viabilidade do uso de fibras naturais de sisal nos comprimentos de 75 mm, 50 mm e 25 mm para o teor de 0,5% de fibra em relação ao volume total do solo, buscando encontrar o comprimento ótimo de fibra para o percentual analisado, bem como sua aplicabilidade como reforço de solo. Os parâmetros de reforço será analisado através dos ensaios de CBR e compressão simples, e os resultados serão comparados com os obtidos no solo natural. A avaliação da deformação plástica e a redução do índice de vazios serão analisadas através dos testes de adensamento unidimensional para cada amostra. Era esperado que a fibra de sisal de 75 mm apresentasse maior viabilidade para o solo reforçado, contudo, a fibra de 50 mm apresentou pico maior prontidão de homogeneização com o solo para o conteúdo analisado, em todos ensaios de resistência.

Palavras Chave. Geogrelha, solo-cal, melhoria de solos.

1. Introdução

Em obras de pavimentação, uma das formas de viabilizar o local do empreendimento que contém solo pouco resistente é a remoção da camada deste solo e substituição por outro material adequado. Contudo, essa prática acarreta problemas ambientais que estão relacionados com o bota-fora, além de altos custos econômicos dos projetos com escavação e transporte do material a ser removido. Outra solução que pode ser empregada, é o melhoramento das propriedades mecânicas do solo do local.

Pensando nisso, várias pesquisas com fibras alternativas, especialmente vegetais, foram realizadas a fim de obter o melhoramento das propriedades destes solos de forma econômica e sustentável, conforme o trabalho de Trindade (2010)[1], que analisou o comportamento de solos reforçados com fibra de coco. Uma confirmação obtida de estudos experimentais de laboratório nesse ramo, é a de que a presença das fibras modifica o comportamento dos solos, gerando um material mais dúctil, coesivo e levemente mais compressível (BUENO,1996)[2].

O presente estudo verificará através de ensaios laboratoriais, realizados com o solo laterítico extraído do Aterro Sanitário de Brasília (Brasil) na região de Samambaia

¹Hellen Evenyn Fonseca da Silva, Caio Soares Camargos, Matheus Viana de Souza, Rideci Farias.

(Distrito Federal –DF), o melhoramento das propriedades resistentes do mesmo na presença das fibras de sisal nos comprimentos de 25mm, 50mm e 75mm para o teor de 0,5% de fibra em relação ao volume total de solo seco, através dos ensaios de CBR e compressão simples, e os índices de vazios analisados pelo ensaio de adensamento unidimensional. Os resultados serão comparados aos analisados na amostra de solo natural. Também se analisará a viabilidade do emprego da fibra no solo, como elemento de reforço, e a verificação de sua aplicação para camadas de sub-base e subleito em obras de pavimentação. Os comprimentos e o teor estabelecidos das fibras, foram definidos foram obtidos segundo Trindade (2015)[3].

2. Materiais e métodos

A determinação das características físicas e mecânicas do solo bem como das fibras foram obtidas por meio de ensaios no laboratório da Universidade Católica de Brasília (Brasil). As amostras de solo foram coletadas do Aterro Sanitário de Brasília (ASB). O processo de coleta do solo se deu em conformidade com o especificado na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 9604/1986[4].

A fibra de sisal foi extraída corda feita de sisal adquirida em Brasília. Elas foram cortadas nos tamanhos de 25 mm, 50 mm e 75 mm. Os diâmetros das fibras variam entre 10 a 30 mm e a espessura da parede celular varia entre 6 a 9 mm. A parede celular das fibras do sisal é constituída de várias camadas que se diferem entre si em função de sua estrutura e composição química, de acordo com Martin (2009)[5].

Durante o procedimento dos ensaios, nas amostras de solo-fibra 75 mm, percebeu-se um aglomerado entre as fibras, dificultando a homogeneização destas com o solo, tendo piorado na presença da água.

A Figura 1 apresenta os comprimentos de fibra utilizados. O item a) contém a fibra de 75 mm; b) 50 mm e c) 25mm.

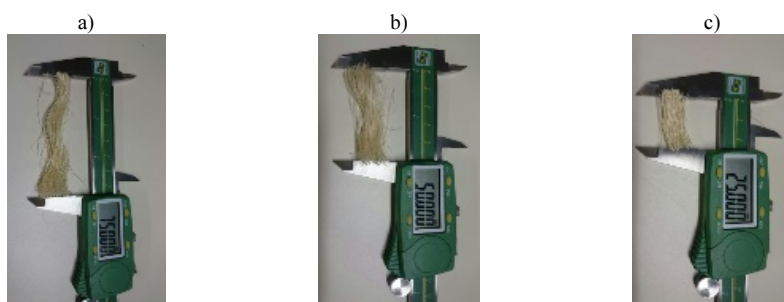


Figura 1. Cortes das fibras de sisal.

2.1. Análise granulométrica

A análise granulométrica do solo avalia a distribuição das dimensões dos grãos de solo. Este ensaio foi feito por sedimentação e peneiramento. A execução da metodologia empregada bem como os equipamentos utilizados para este ensaio, foram realizados em conformidade ABNT-NBR 7181/1984[6].

2.2. Limites de Atteberg

Caputo (2009)[7] define o limite de liquidez como o menor teor de umidade com que uma amostra de solo seja capaz de fluir, sendo o valor de umidade em que o solo passa do estado líquido para o estado plástico.

Caputo (2009)[8] também define o limite de plasticidade como sendo a umidade de transição entre o estado plástico e semissólido do solo.

De acordo com Varella (2011)[9], o índice de plasticidade classifica o solo conforme sua plasticidade. A obtenção do índice de plasticidade (IP) é dada pela diferença do limite de liquidez (LL) pelo limite de plasticidade (LP).

Para estes ensaios, foi consultado as normas regulamentadoras ABNT-NBR 6459/1984[10] e ABNT-NBR 7180/1984[11] para determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade, respectivamente.

2.3. Massa específica dos grãos

O ensaio de massa específica dos grãos é realizado para determinação do valor da massa específica real do solo, através de um picnômetro calibrado. A metodologia e a aparelhagem utilizada neste ensaio foram feitas conforme o estabelecido pela ABNT-NBR 6508/1984[12].

2.4. Massa específica do sisal

O ensaio de massa específica do sisal é realizado para determinação do valor da massa específica real das fibras de sisal. Este ensaio foi realizado com pentapicnômetro, conforme o especificado pela norma D5550-00 (ASTM, 2000)[13].

2.5. Ensaio de tração no sisal

As amostras de sisal nos comprimentos de 25 mm, 50 mm e 75 mm foram ensaiadas na Máquina de Ensaio Universal a uma velocidade de 10mm/min. A metodologia de ensaio foi realizada segundo a norma americana ASTM D2256-95*[14], onde foram ensaiadas 20 fibras para cada amostra.

2.6. Ensaio de compactação

Os procedimentos e execução do ensaio de compactação se estabeleceram conforme o indicado pela ABNT - NBR 7182/1984[15].

Para a compactação se utilizou o soquete grande, conforme especificado na ABNT-NBR 7182/1984[16], para energia Proctor intermediário - 21 golpes para cada 3 camadas de material.

Conforme maior o comprimento maior de fibra, maior a dificuldade em realizar os procedimentos do ensaio.

2.7. California bearing ratio

O California Bearing Ratio (CBR) representa a capacidade de suporte do solo em função da resistência à penetração de uma haste de cinco centímetros de diâmetro em uma

camada de pedra britada, considerada como padrão um CBR = 100% (Machado et. al, 2000)[17]. Também fornece a expansão de um solo sob um pavimento quando estiver saturado, fornecendo indicações da perda de resistência do solo devido a esta saturação, conforme indicado na norma ABNT-NBR 9895/1987[18].

2.8. Compressão simples

Segundo o Departamento Nacional de Estrada e Rodagem – DNER (004/1994)[19], a resistência à compressão de um solo coesivo é obtida pelo valor da pressão correspondente à carga que rompe um corpo-de-prova cilíndrico de solo submetido à carregamento axial.

O ensaio se procedeu pelo controle de penetração do pistão. O referido DNER-IE apresenta o cálculo da resistência ao cisalhamento ou coesão (c), pela metade da resistência (R) à compressão obtida, conforme o apresentado na Eq (1).

$$c = R/2 \quad (1)$$

2.9. Adensamento unidimensional

Visando a aplicação da fibra como reforço de fundações, se realizou o ensaio de Adensamento Unidimensional, em conformidade com a ABNT NBR 12007/MB-3336[20].

De acordo com Lozano (2013) [21], através da altura inicial do corpo-de-prova que os recalques podem ser calculados em função das tensões verticais atuantes.

O anel utilizado para os ensaios é do tipo fixo, e a condição de ensaio em que o adensamento foi realizado é sem inundação. O coeficiente de adensamento foi determinado conforme o método de Casagrande, e a pressão de pré-adensamento estabelecida segundo o método de Pacheco Silva. Os carregamentos e descarregamentos foram feitos com as cargas de 50kPa, 200kPa, 400kPa e 800kPa. Os carregamentos foram feitos a cada 24h e os descarregamentos de forma análoga.

3. Resultados e discussão

3.1. Caracterização do solo

A Tabela 1 apresenta a caracterização do solo. De acordo com a classificação proposta pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), o solo usado no estudo pertence ao grupo A7, sendo seu subgrupo A-7-5. De acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), este solo é composto de material fino com partículas de areia fina, classificado como SM (areia siltosa).

Tabela 1. Resultados de caracterização do solo.

Ensaio:	Resultado:
Limite de liquidez	44,4 7%
Limite de plasticidade	34,99 %
Índice de plasticidade	10,07 %
Massa específica dos grãos	2,5 g/cm ³

Pelo solo pertencer ao grupo A-7, é classificado como inadequado como material de subleito para obras de pavimentação, mas segundo o Departamento Nacional de Transporte -DNIT (2006)[22], solos lateríticos podem apresentar $IG \neq 0$. De acordo com seu IG 18, este solo é classificado como péssima qualidade como material de fundação para pavimentação.

A Figura 2 expõe a análise da curva granulométrica do solo em estudo.

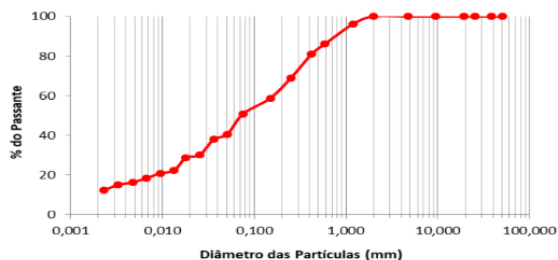


Figura 2. Análise granulométrica.

A obtenção da curva granulométrica do solo é de extrema importância para análise da distribuição dos grãos e para identificação do diâmetro dos mesmos para sua classificação (Pinto, 2006)[23].

3.2. Massa específica do sisal

O relatório de resultados gerados pelo pentapicnômetro estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados do ensaio de massa específica do sisal.

Dados	Resultado	Unidades
Tamanho da célula	Média	-
Volume da célula	59,8259	cm ³
Temperatura analisada	25,3	C
Volume médio	2,4566	cm ³

3.3. Resistência à Tração do Sisal

Os resultados do ensaio de resistência à tração no sisal estão apresentados na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Resistência à tração do sisal.

Comprimento da Fibra	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)
25 mm	38,195 ± 18,51	0,41 ± 1
50 mm	83,95 ± 31,64	0,83 ± 1
75 mm	145,3 ± 51,05	1,25 ± 1

3.4. Compactação

A Figura 3 compila os gráficos da compactação das misturas e do solo natural.

Ao analisar o gráfico, percebe-se que quanto maior o tamanho da fibra, menor a umidade ótima. Isso ocorre devido a absorção de água provocado pela mesma, por se tratar de um material não inerte.

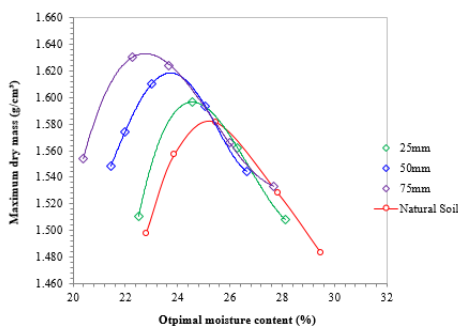


Figura 3. Curvas de compactação.

3.5. California bearing ratio

A Figura 4 apresenta o gráfico com os resultados do CBR.

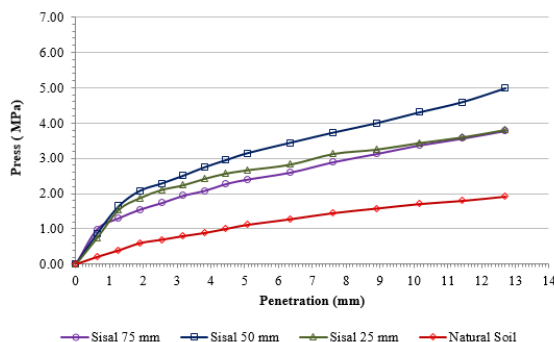


Figura 4. Curvas CBR.

Houve expansão somente na amostra de solo-fibra 75 mm, de 0,40%. Para tanto, de acordo com o DNIT[24], em relação as expansões dos solos encontradas, todas as misturas solo-fibra e solo natural podem ser usada para reforço de camada de sub-base em pavimentação, pois de acordo com o DNIT, a expansão deve ser $\leq 1\%$.

Mediante os resultados, percebe-se que a mistura solo-fibra que apresentou maior resistência à penetração foi a de 50mm. Esperava-se que a fibra de 75mm apresentasse maior resistência neste ensaio, mas devido à dificuldade de homogeneizar a fibra com o solo, a resistência à penetração não pôde ser devidamente avaliada.

Mediante os resultados do CBR, percebeu-se que, para uma porcentagem de 0,5% de fibra de sisal, o comprimento de 50 mm é o tamanho de fibra ótimo, conferindo ao solo um incremento de resistência de 203,14% em relação ao solo natural.

3.6. Resistência à compressão simples

A Tabela 4 compila os resultados obtidos da compressão simples e das respectivas coesões.

Os resultados do ensaio de compressão simples são similares aos do CBR, no que tange a resistência conferida ao solo pela fibra de 50mm ser a maior dentre as demais

misturas solo fibra e solo natural. O mesmo vale para a coesão. A dificuldade de homogeneização do solo com a fibra de 75 mm tornou a comprovação de sua eficácia prejudicada.

Tabela 4. Resultados de Compressão Simples e Coesão.

Amostras	Compressão Simples (kN/m ²)	Coesão (kN/m ²)
Solo natural	41,1	20,57
Solo-Sisal 75 mm	64,4	23,76
Solo-Sisal 50 mm	98,8	47,38
Solo-Sisal 25 mm	47,5	32,72

3.7. Adensamento unidimensional

A Figura 5 compila o gráfico de Índices de Vazios x Pressão (kPa) das amostras ensaiadas.

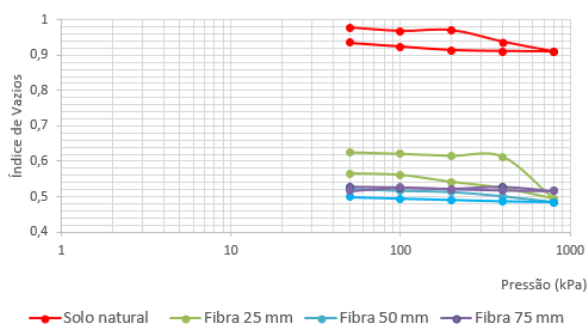


Figura 5. Adensamento Unidimensional.

É possível perceber que a adição da fibra de sisal reduz o índice de vazios e aumenta a plasticidade do mesmo em comparação com o solo natural. Tornando-a boa alternativa para aplicação em solos em que se deseja reduzir os índices de vazios e aumentar sua plasticidade. Contudo, a fibra de 25 mm foi a mais eficiente na redução desses índices, tornando-se a melhor opção, dentre as fibras, para o emprego em fundações com a finalidade de reduzir os índices de vazios.

4. Considerações finais

Por meio dos resultados do solo com a mistura das fibras de sisal de no comprimentos de 75 mm, 50 mm e 25 mm, para um teor de 0,5% do volume total de solo, é possível verificar o reforço e aumento da coesão nas amostras em comparação com os resultados obtidos no solo natural, bem como a redução dos índices de vazios e aumento da plasticidade no mesmo.

Dos três comprimentos abordados, a fibra de 50 mm atribuiu ao solo um maior aumento nas propriedades mecânicas do mesmo, se comparada com os outros comprimentos avaliados, atingindo pico em todos os ensaios de resistência, sendo ela o tamanho de fibra ótimo encontrado neste estudo. Contudo, não se pode comprovar a verdadeira eficácia do emprego da fibra de 75 mm no solo devido sua dificuldade de homogeneização durante os ensaios de compactação.

Mediante o ISC do solo natural e do solo natural, percebe-se que o mesmo pode ser

empregado em camadas de subleito e que é inviável para camada de sub-base de pavimentação. Contudo, com a adição da fibra de 50 mm, o CBR fornece resistência dentro dos padrões normativos para aplicação nas camadas de sub-base de pavimentos, as expansões também estão dentro dos limites permissíveis estabelecidos pela mesma. Percebe-se também que o emprego da fibra de sisal no comprimento de 50 mm para um teor de 0,5% pode ser utilizada como reforço geotécnico de baixo custo, por se tratar de uma fibra natural abundante no Brasil.

Referências

- [1] TRINDADE, Amanda. Estudo de materiais alternativos para utilização como novos materiais geotécnicos - aplicabilidade de fibras naturais de sisal como reforço de solos. Disponível em :< http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2016/resumos_pdf/ctc/CIV/Amanda%20Fernandes%20Nogueira%20Trindade.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2018.
- [2] BUENO, B.S. Aspectos da estabilização de solos com uso de aditivos químicos e de inclusões plásticas aleatórias. 1996. Concurso Público (Livre Docência) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.
- [3] TRINDADE, Amanda. Estudo de materiais alternativos para utilização como novos materiais geotécnicos - aplicabilidade de fibras naturais de sisal como reforço de solos. Disponível em :< http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2016/resumos_pdf/ctc/CIV/Amanda%20Fernandes%20Nogueira%20Trindade.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2018.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9604: solo – Amostragem e preparação dos solos. Rio de Janeiro, 1986.
- [5] MARTIN, Adriana R. Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade Agave sisalana. Disponível em :< http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282009000100011>. Acesso em 14 jul. 2018.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.
- [7] CAPUTO, H.P. Mecânica dos Solos e suas aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 1988. 234 p.
- [8] CAPUTO, H.P. Mecânica dos Solos e suas aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 1988. 235 p.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984). NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984). NBR 7181: Solo – Análise granulométrica
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984). NBR 6508: Determinação da massa específica
- [12] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by Single Strand Method. ASTM D 5550-00a (2000).
- [13] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by Single Strand Method. ASTM D 2256a (1990).
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1986). NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1986). NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação
- [16] MACHADO, Sandro. Mecânica dos Solos I. Disponível em :< <http://www.ct.ufpb.br/~celso/solos/material/teoria1>>. Acesso em: 06 set. 2018.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987). NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia.
- [18] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. Pavimentos flexíveis – Sub-base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1986). NBR 120007/MB: Ensaio Unidimensional.
- [20] LOZANO, Mauro. Ensaio de Adensamento Unidimensional. 2010. Disponível em:< http://dynamisbr.com.br/19112010_Procedimento_Ensaio_Edometrico.pdf>. Acesso em: 05 maio 2018
- [21] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. Pavimentos flexíveis – Sub-base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009.
- [22] PINTO, C. S. Curso Básico de mecânica dos solos. 3th. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 77 a 354.