

# Análise da Influência do Tamanho das Fibras de Cana-de-açúcar na Curva de Compactação de Solos Modificados

Thais Moura de Souza

Graduanda Engenharia Civil, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, thais.mour@uol.com.br

Ana Carolina Moraes Rangel

Mestranda Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, anacarolinamrangel@gmail.com

Adinele Gomes Guimarães

Professora do Magistério Superior, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, adinele@unifei.edu.br

**RESUMO:** Em algumas situações a modificação do solo com adição de fibras se torna a opção mais apropriada. Considerando ainda o grande volume de resíduos gerados pela produção de cana-de-açúcar no Brasil e a importância do emprego de solos compactados na engenharia, motivou-se a investigação da influência do tamanho de fibras de cana-de-açúcar nos solos. Este trabalho avaliou o comportamento da curva de compactação de dois solos argilosos, um vermelho e outro amarelo, com o acréscimo de três comprimentos de fibra (menor que 0,0425 cm; 0,5 cm e 1,0 cm), no ensaio de Proctor Normal, sem reuso das amostras, com concentração de 1,5% de fibra. Observou-se que a adição de fibra, em todos os tamanhos, diminuiu a densidade seca máxima das amostras e para as fibras de 0,5 cm e 1,0 cm ocorreu um deslocamento da umidade ótima. O uso da fibra de cama para obras com solo compactado mostrou-se vantajosa por diminuir em todos os casos a densidade seca máxima, diminuindo a quantidade de material para a execução de aterros, por exemplo. Recomenda-se principalmente o uso da fibra menor que 0,0425 cm em função de sua maior facilidade de produção e maior aproveitamento do resíduo da cana-de-açúcar.

**PALAVRAS-CHAVE:** fibras naturais, solos compactados, reaproveitamento de resíduos, solos com fibras.

**ABSTRACT:** In some situations, soil modification with the addition of fibers becomes the most appropriate option. Considering the large volume of waste generated by sugarcane production in Brazil and the importance of using compacted soils in engineering, the investigation of the influence of the size of sugarcane fibers on soils was motivated. This work evaluated the behavior of the compaction curve of two clayey soils, one red and the other yellow, with the addition of three fiber lengths (less than 0.0425 cm; 0.5 cm and 1.0 cm), in the Proctor Normal, without reuse of samples, with 1.5% fiber concentration. It was observed that the addition of fiber, in all sizes, reduced the maximum dry density of the samples and for the 0.5 cm and 1.0 cm fibers there was a displacement of the optimum humidity. The use of fiber litter for works with compacted soil proved to be advantageous as it reduced the maximum dry density in all cases, reducing the amount of material for carrying out landfills, for example. It is mainly recommended to use fiber smaller than 0.0425 cm due to its greater ease of production and greater use of sugar cane residue.

**KEYWORDS:** natural fibers, compacted soils, reuse of waste, soils with fibers.

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um elemento fundamental nos processos de planejamento de projetos na Engenharia Civil, sendo usado como material para as construções ou servindo de base para transferências dos esforços das obras. Várias de suas propriedades devem ser analisadas na fase de dimensionamento dos empreendimentos e dentre essas características estão granulometria, permeabilidade, compressibilidade, entre outras.

Posto isso, verifica-se a necessidade, em alguns casos, de alterar alguns desses atributos através da realização de determinados procedimentos no solo. Um processo comum dentro da engenharia é a compactação, capaz de alterar, por exemplo, a permeabilidade e a compressibilidade desse material, sendo essa metodologia essencial para obras tais como barragens, aterros, estradas e contenções.

No entanto, alguns terrenos em suas condições naturais tornam os projetos inviáveis tecnicamente ou financeiramente, sendo necessário realizar modificações em sua composição. Existem inúmeros métodos de

modificação dos solos na literatura, como, por exemplo, mistura de outro tipo de solo, adição de compostos químicos ou adição de fibras.

Porém, no ramo de estudos do acréscimo de fibras ao solo, existe uma carência de trabalhos em relação a fibras naturais, sendo a maioria dos estudos encontrados sobre fibras sintéticas.

Paralelamente a essa insuficiência de informações sobre fibras naturais, considerou-se o grande volume de resíduos gerados pela produção de cana-de-açúcar, sendo o Brasil o maior produtor mundial desse produto, de acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Também a importância da compactação na engenharia civil como motivação para o estudo da influência de fibras de cana-de-açúcar na compactação do solo.

Esse trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento das curvas de compactação de dois solos argilosos, um vermelho e outro amarelo, com acréscimos de diferentes tamanhos de fibras de cana-de-açúcar (menor que 0,0425cm; 0,5 cm e 1,0 cm).

Para essa análise, primeiramente realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o assunto, em seguida, realizou-se a parte experimental, em que se confeccionou as fibras e fez-se a coleta dos solos. Na etapa de pesquisa experimental determinou-se a curva granulométrica de ambos os solos sem adição de fibras, em seguida elaborou-se a curva de compactação de cada solo com o acréscimo de fibras de cana-de-açúcar e, por fim, definiu-se o peso específico das partículas dos solos e das fibras

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Solos Compactados

Define-se compactação de um solo qualquer redução, em um espaço relativamente curto de tempo, do índice de vazios, por processos mecânicos (MASSAD, 2003). Esse processo consiste na expulsão de ar dos vazios presentes na estrutura do solo, o que a diferencia do processo de adensamento, definido como a expulsão lenta da água desses vazios. A compactação tem como objetivo aumentar o contato entre os grãos e tornar o maciço de terra mais homogêneo (PINTO, 2006), resultando em um solo com melhores propriedades físicas para as aplicações da engenharia.

Então em 1933, Proctor aprimorou a técnica empírica criando um ensaio padronizado em que se é possível traçar uma curva de compactação, relacionando o peso específico seco com a variação do teor de umidade (MASSAD, 2003). Esse ensaio é ainda muito utilizado no ramo da engenharia e é regularizado no Brasil pela ABNT NBR 7182:1996 (Ensaio de Compactação).

O objetivo deste ensaio é determinar a umidade ótima de compactação, a qual resulta em um peso específico seco máximo para uma determinada energia, sendo este o ponto máximo da curva de compactação. Os parâmetros determinados no ensaio são utilizados para o controle da compactação no campo.

O formato da curva de compactação é explicado pelo fato de que até certa concentração a água serve como lubrificante, diminuindo o atrito entre os grãos e facilitando a acomodação das partículas de solo. Após o ponto de umidade ótima o excesso de água acaba por afastar as partículas, pois os vazios preenchidos com ar ficam envoltos por água dificultando sua saída, portanto, diminuindo o peso específico seco da amostra (PROCTOR, 1933).

Como os resultados são experimentais e variam de amostra para amostra, podem ocorrer alguns erros durante o processo experimental. Conforme Massad (2016), as principais fontes de erros no ensaio de compactação são: mistura ou homogeneização incompleta; destorroamento incompleto; distribuição não uniforme da energia de compactação; teor de umidade não representativo da amostra toda; número insuficiente de pontos para definir o ponto ótimo e reuso do solo durante o ensaio.

De acordo com Pinto (2006), o ensaio em que se utilizam novas amostras a cada ponto apresenta um resultado mais fiel, principalmente nos casos em que as partículas são quebradiças, influenciando no resultado. E, apesar das opiniões dadas por autores especialistas na área de geotecnia, de que um dos fatos que podem influenciar na presença de erros ser o reuso de solo para mais de um ponto, a norma permite que o ensaio de compactação seja realizado com aproveitamento ou não do solo. Assim ao se realizar esse tipo de ensaio é necessária uma análise criteriosa sobre qual aplicação mais adequada.

### 2.2 Solos Modificados

Segundo Mogroveje (2013), os engenheiros têm algumas alternativas quando se deparam com um solo sem as características necessárias para a construção, são elas: aceitar as condições do local e desenvolver um projeto a partir das restrições ocasionadas pela qualidade do material; substituir o solo presente por outro com

características mais favoráveis; ou modificar as propriedades do solo de forma que este material apresente características favoráveis à obra.

Em muitas situações, por conta da limitação de matéria-prima da região, requisitos do projeto e fatores econômicos, modificar o solo se torna a opção mais apropriada. Com essa finalidade existem alguns procedimentos, como, por exemplo, a utilização de aditivos químicos ou o acréscimo de fibras.

No caso de misturas com compostos químicos, pode-se citar a utilização da cal hidratada e do cimento Portland. O primeiro confere ao solo maior trabalhabilidade, bem como ganho de resistência; já o segundo, além da ampliação das características promovidas pela cal, reduz a plasticidade e a variação volumétrica do material (SILVA,2016).

De acordo com Trindade, Iasbik, Lima, Silva e Barbosa (2004), o atual uso das fibras na geotecnia está relacionado à técnica de reforço com fitas e mantas, bem como a reparação granulométrica com a combinação de dois ou mais tipos de solos.

Conforme Feuerharmel (2000), as alterações nas propriedades dos solos com a adição de fibras já relatadas na bibliografia são referentes à compactação, resistência à compressão e tração, deformabilidade, variação volumétrica, modo de ruptura e condutividade hidráulica.

No estudo de Bolaños (2013), sobre a utilização de fibras de coco verde cortadas para alteração de solos argilosos constatou-se que esse material aumenta a resistência mecânica do solo e coesão em relação ao solo puro, tornando-o uma alternativa sustentável para o processo de reforço de solos argilosos.

Também apresentando melhorias nas propriedades mecânicas de amostras de solos com adição fibras, cita-se a pesquisa de Festugato (2008), sobre o comportamento de solos reforçados com fibras de polipropileno com diferentes comprimentos.

No entanto, existem inúmeros tipos de fibras no mercado, bem como em fase experimental, variando entre si em tamanho, forma e material. De acordo com a literatura sobre o assunto, não existe um comportamento padrão para a mistura desse material no solo. Os resultados desse tipo de modificação variam de acordo com a interação entre o solo e a fibra, assim, dependendo das características de ambos os elementos. Sendo assim, cabe ao engenheiro uma análise na literatura sobre qual material deverá ser usado de acordo com o solo e o resultado esperado para determinado projeto.

### **2.3 Características da Fibra de Cana-de-açúcar**

Como já explanado nesse texto, existem inúmeros tipos de fibras utilizadas para o reforço dos solos. Essas podem ser classificadas de diferentes maneiras, dependendo do autor. Para Feuerharmel (2000), as fibras são rotuladas em naturais, poliméricas, minerais ou metálicas. Já para Silva (2007), as fibras são classificadas em orgânicas ou inorgânicas, tendo como subcategorias naturais ou artificiais.

O foco de estudo desse trabalho é a fibra de cana-de-açúcar, sendo essa uma fibra natural e orgânica de origem vegetal.

Já existe uma ampla literatura sobre o reuso da cana-de-açúcar na construção civil, em relação à utilização das cinzas do bagaço na substituição da areia para a produção de concreto ou tijolos. O mesmo não ocorre em relação a sua fibra em solos modificados. Esse assunto é amplamente discutido em relação a fibras poliméricas em detrimento à fibras naturais.

Ao se analisar referências sobre fibras naturais, pode-se enumerar algumas vantagens, como abundância de matéria-prima, baixo custo e não apresentar risco à saúde (SILVA,2007).

Já como desvantagem, alguns autores apresentam o fato desse material se decompor ao longo do tempo. Porém, esse fato pode ser contestado ao se analisar os resultados obtidos no estudo de Rangel (2018). Nessa pesquisa, verificou-se um ganho de resistência à compressão não confinada as amostras de solos com a adição de fibra de cana-de-açúcar, seis meses após a compactação. A resistência final dessas amostras foi maior que a resistência das amostras de solo puro, demonstrando a eficiência desse material para o reforço.

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Amostragem dos Solos**

Para a elaboração do estudo, foram utilizadas amostras deformadas de dois tipos de solo, um de coloração vermelha e outro amarela. Os dois materiais foram extraídos na cidade de Delfim Moreira, região sul do estado de Minas Gerais, em julho de 2016. O solo vermelho foi coletado no ponto com coordenadas 23K 04684475m S e 7511706m E, a uma profundidade de 0,90m a 1,80m (Figura 1), e o amarelo no ponto

23K 0467057m S e 7511674m E, a uma profundidade de 0,70m a 1,70m (Figura 2), referentes ao Datum SAD69.



Figura 1: Local de coleta do solo vermelho  
Fonte: RANGEL, 2018,p.29



Figura 2: Local de coleta do solo amarelo  
Fonte: RANGEL, 2018,p.29

Após sua coleta os materiais foram levados ao Laboratório de Geotecnia da Universidade Federal de Itajubá (Campus Itajubá), onde foram homogeneizados e armazenados em sacos plásticos até serem utilizados nos ensaios.

### 3.2 Preparação da Fibra de Cana-de-açúcar

O material utilizado nesse estudo para a produção das fibras foi obtido no Mercado Municipal de Itajubá-MG, onde o bagaço da cana-de-açúcar iria ser descartado após sua prensagem no engenho. Em seguida, o bagaço foi transportado para laboratório de recepção de amostras para sua higienização com água corrente, e posterior deposição em estufa de Secagem e Esterilização (SOLAB modelo SL100), à 75°C por cinco dias. Na sequência, extraiu-se as cascas desse material, passando o remanescente pelo Moinho de Facas (LOGEN Scientific modelo LSW 5000).

O resultado desse procedimento era composto por fibras de diversos tamanhos. Assim, com o objetivo de padronizar os comprimentos das fibras, as mesmas passavam por um processo de peneiramento.

Para as fibras de menor dimensão utilizou-se o agitador de peneiras, utilizando apenas o material passante na peneira de 425µm. Já para as fibras de 0,5cm e 1,0cm conduziu-se um processo de peneiramento e separação manual, tendo uma tolerância de 0,2cm para mais ou menos nos comprimentos. A Figura 3 ilustra as amostras dos três tamanhos de fibras. As fibras eram armazenadas em sacos plásticos até o momento dos ensaios.



Figura 3: Amostras da fibra- da esquerda para direita -menor que 0,0425 cm; 0,5 cm e 1,0 cm.

### 3.3 Determinação da Curva Granulométrica

Para a classificação das amostras, elaborou-se a curva granulométrica dos solos utilizando os procedimentos indicados pelas normas de Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização (ABNT NBR 6457/86) e a de Análise Granulométrica (ABNT NBR 7181/84). Essa etapa foi repetida três vezes, considerando a média entre os três ensaios como resultado dos diâmetros dos grãos.

### 3.4 Ensaios de Compactação

As curvas de compactação foram construídas de acordo com a metodologia descrita na ABNT NBR 7182/1986. Segundo Rangel (2018), o teor de 1,5% de fibra na massa de solo compactado apresenta os maiores valores de resistência não confinada para os solos estudados. Sendo assim foi utilizada essa proporção nos ensaios deste trabalho (Figura 4). Cabe ressaltar que, buscando evitar a interação de outros fatores na análise, realizou-se o ensaio de compactação de Proctor normal, sem reaproveitamento das amostras. Para isso, determina-se a umidade do solo antes do ensaio, separou-se as cinco porções de solo e armazenava-os em sacos plásticos vedados (Figura 5), para melhor controle da umidade de cada ponto da curva. Os ensaios foram realizados com o solo puro e com o acréscimo de fibras de cada tamanho separadamente.

### 3.5 Determinação da Densidade das Partículas

Nessa etapa do estudo, realizou-se uma metodologia diferente para a definição do peso específico das partículas de solo e das fibras. Essa diferenciação foi feita ao perceber qual metodologia se adaptava melhor a cada material. No caso da determinação da densidade dos grãos dos solos, utilizou-se o procedimento de Densidade de Partículas, especificada pela EMBRAPA (2017). Foram realizadas 6 repetições desse ensaio para cada solo e assumiu-se como resultado, a média entre os valores obtidos. Para o caso da determinação da densidade das fibras realizou-se a metodologia descrita na norma regularizada pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER), Solos – Determinação da densidade real (ME-093/94). Esse processo foi realizado para cada comprimento de fibra.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As curvas granulométricas das amostras de solo vermelho e amarelo são mostradas na Figura 4 e Figura 5, respectivamente. De acordo com a textura mostrada pelas curvas constata-se que o solo vermelho consiste em uma argila arenosa e o solo amarelo em uma argila siltosa.

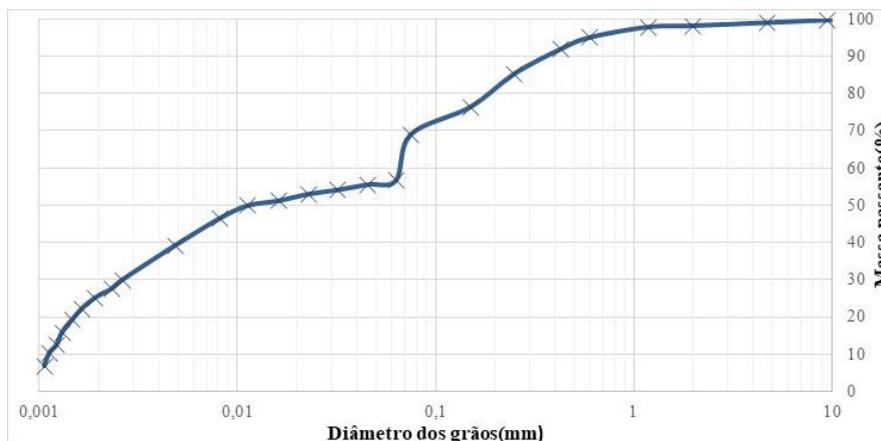


Figura 4: Curva Granulométrica - Solo Vermelho

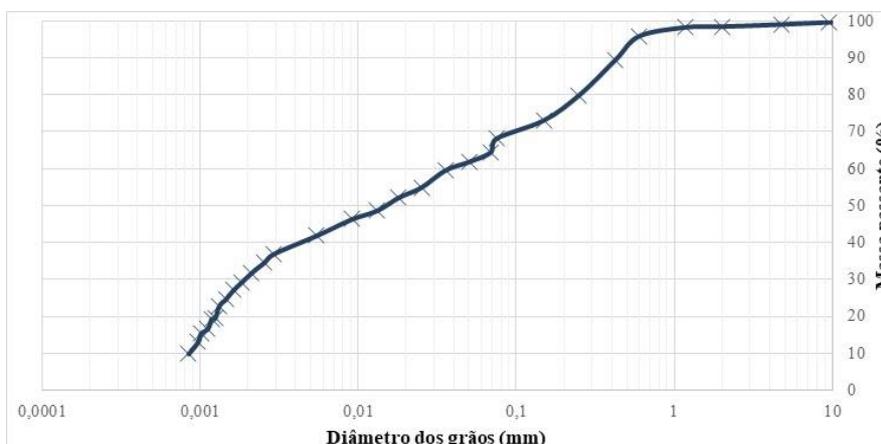


Figura 5: Curva Granulométrica - Solo Amarelo

Em relação a densidade das partículas sólidas, os resultados são apresentados na Tabela 1. Identifica-se que as fibras menores apresentam maior densidade por serem mais homogêneas e que as fibras de 0,5cm e 1,0cm apresentam pouca diferença entre si por terem características físicas muito semelhantes.

Tabela 1. Densidade das partículas sólidas.

Material	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Material	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Solo Amarelo	2,5	Fibra menor de 0,0425 mm	1,06
Solo Vermelho	2,53	Fibra 0,5 cm	0,77
		Fibra 1,0 cm	0,71

Nas Figuras 6 e 7 estão apresentados os gráficos com as curvas de compactação realizadas com amostras dos dois solos, com e sem adição de fibras. Na Tabela 2 são mostrados os parâmetros determinados pelas curvas de compactação, teor de umidade ótimo e massa específica aparente seca máxima, bem como os percentuais destes parâmetros para as amostras com adição de fibras em comparação para os solos puros (sem fibra).

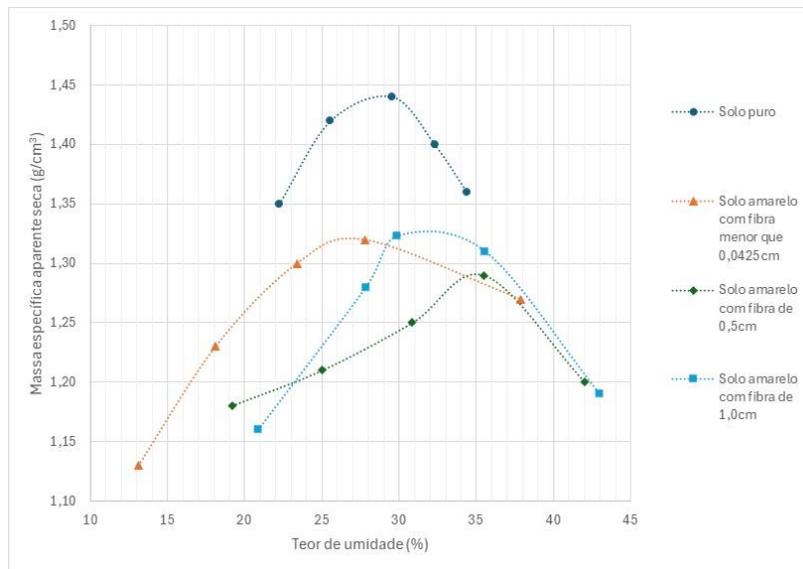


Figura 6: Curvas de Compactação - Solo Amarelo

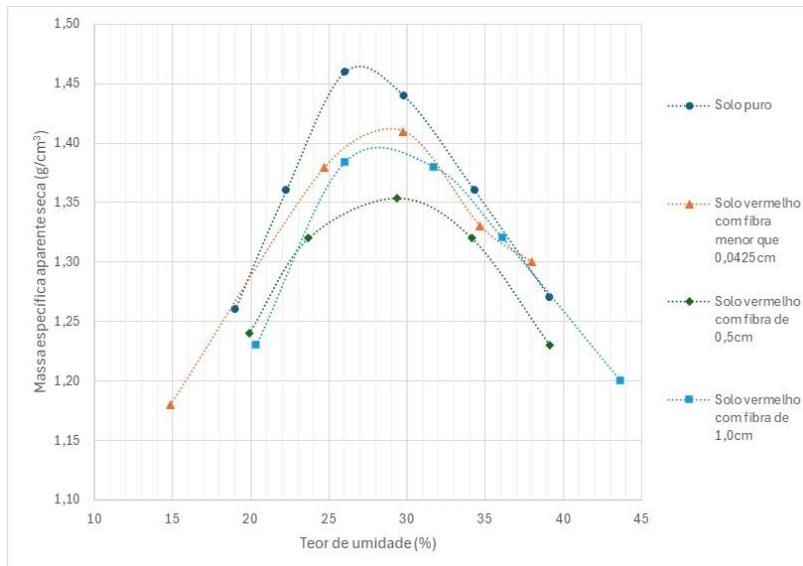


Figura 7: Curvas de Compactação - Solo Vermelho

Tabela 2: Parâmetros das curvas de compactação para os solos amarelo e vermelho

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	Relação entre as massas específicas aparentes (%)	Umidade ótima (%)	Relação entre as umidades ótimas (%)
Solo amarelo puro	1,44	-	29,5	-
Solo amarelo com adição de fibra menor que 0,0425cm	1,32	92	27,1	92
Solo amarelo com adição de fibra de 0,5cm	1,29	90	35,5	120
Solo amarelo com adição de fibra de 1,0cm	1,32	92	29,9	101
Solo vermelho puro	1,46	-	26,0	-
Solo vermelho com adição de fibra menor que 0,0425cm	1,41	97	28,7	92
Solo vermelho com adição de fibra de 0,5cm	1,35	92	29,4	120
Solo vermelho com adição de fibra de 1,0cm	1,38	95	31,7	101

Inicialmente, ao analisar o solo amarelo, percebe-se uma queda significativa da massa específica aparente seca máxima ao se adicionar fibra ao solo, não variando significativamente entre os tamanhos de fibra, devido ao fato de um acréscimo de material com menor densidade à amostra. Também se observa um alongamento da curva no caso da amostra de solo com acréscimo de fibra menor que 0,0425cm, se comportando como um solo com maior porcentagem de grãos finos. Em relação ao teor de umidade ótimo, percebe-se um deslocamento dos valores nas adições de 0,5cm e 1,0cm. As fibras com essas dimensões eram mais grossas, absorvendo mais a umidade da amostra e dificultando o fator de lubrificação da água na amostra no ramo seco, precisando de mais umidade para que as partículas estivessem sua acomodação de densidade máxima.

Fazendo-se as mesmas interpretações das curvas e valores obtidos para o solo vermelho, observa-se que estas amostras não apresentaram grandes variações nos valores das massas específicas aparentes secas máximas e dos teores de umidade ótimos as curvas mais alongadas foram para os casos com adição de fibras de 0,5cm e 1,0cm.

O decréscimo para ambos os solos na massa específica aparente seca máxima nas amostras com mistura de fibra, se deve ao fato que o material adicionado apresenta menor densidade das partículas. A diminuição da massa específica aparente seca máxima e o aumento da umidade ótima, ao se adicionar fibras naturais, também foi encontrado no estudo, de Bolaños (2013), sobre fibra de coco verde. Ao se comparar os dois solos, percebe-se um comportamento mais padronizado nas amostras de solo vermelho.

## 5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados experimentais, pode-se concluir que o solo vermelho é mais indicado para obras de terra por conta de sua facilidade em determinar um padrão comportamental do solo. Recomenda-se principalmente o uso da fibra menor que 0,0425cm em função da maior facilidade de utilização na mistura e para maior aproveitamento do resíduo da cana-de-açúcar, com a possibilidade de passar os materiais maiores novamente pelo moinho de facas até que se padronize a totalidade do material em fibras de menor comprimento.

Considerando que no controle das compactações em campo utiliza-se a razão entre a massa específica aparente seca máxima determinada em laboratório e a densidade seca determinada em campo, denominado grau de compactação, o uso da fibra em obras com solos compactados mostra-se vantajosa, tendo em vista que em todos os casos analisados houve uma diminuição da massa específica aparente seca, o que leva a diminuição da quantidade de solo para a execução de obras tais como bases de estradas e aterros.

Vale ressaltar que o presente trabalho avaliou apenas os parâmetros de compactação, devendo ser analisado pelo engenheiro a relevância da alteração de outras propriedades, como, por exemplo, coeficiente de permeabilidade, com a diminuição da densidade seca máxima, mesmo que esse decréscimo não tenha ultrapassado 10% em nenhum dos casos.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto de Recursos Naturais (IRN) e a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pelo apoio ao desenvolvimento do trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). NBR 5681 – *Controle tecnológico da execução de aterros em obras de edificações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986). NBR 6457 – *Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). NBR 7181 – *Solo – Análise Granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986). NBR 7182 – *Ensaio de Compactação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 9313 – *Solo — Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação*. Rio de Janeiro.
- Almeida, F. M. (2017) *Energias para compactação de solos destinados a estruturas de pavimentos asfálticos*. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil - FECIV, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 101p.
- Bolaños, R. E. Z. (2013). *Comportamento Mecânico de um Solo Argiloso Reforçado com Fibras de Coco*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Puc-rio, Rio de Janeiro, 143 p.
- Departamento Nacional de Estradas e Rodagem – DNER (1994). ME 093 – *Solos – Determinação da densidade real*.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2017). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2017. 575 p.
- Festugato, L. (2008) *Análise do comportamento mecânico de um solo micro-reforçado com fibras de distintos índices e aspectos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 145p.
- Feuerharmel, M. R. (2000). *Comportamento de solos reforçados com fibras de polipropileno*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - CPGEC/UFRGS, Porto Alegre, 128p.
- Massad, F. (2016) *Mecânica dos Solos Experimental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 288 p.
- Massad, F. (2003) *Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. 170 p.
- Massocco, N.S. (2013) *Determinação de parâmetros de compressibilidade e de resistência não drenada de argila mole - estudo de caso*. Trabalho de conclusão de curso (Graduação), Universidade Federal de Santa Catarina. SC, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/115428>>.
- Mogrovejo, D. R. L. (2013) *Avaliação das propriedades geotécnicas de um solo argiloso e outro arenoso com adição de fibras de papel kraft*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, 2013, 193p.
- Perboni, J. P. (2003) *Análises de estabilidade e de compressibilidade de aterros sobre solos moles: caso dos aterros de encontro da ponte sobre o rio dos peixes (BR 381)*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 124 p.
- Pinto, C. S. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367 p.
- Proctor, R.R. (1933) *Fundamental Principles of Soil Compaction*. Engineering News Record, 1933, p. 20-28.
- Rangel, A. C. M. (2018) *Avaliação pedológica e geotécnica de solos modificados com fibra de cana de açúcar*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 72p.
- Silva, C. C. (2007) *Comportamento de solos siltosos quando reforçados com fibras e melhorados com aditivos químicos e orgânicos*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná., Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 170 p.
- Silva, M. F. (2016) *Estudo da estabilização com cal de um solo laterítico e um solo não laterítico*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 118 p.
- Trindade, T. P.; Iasbik, I.; Lima, D. C.; Silva, C. H. C.; Barbosa, P. S. A. (2004) *Latossolo vermelho-amarelo reforçado com fibras de polipropileno de distribuição aleatória: estudo em laboratório*. Rem: Revista Escola de Minas, [s.l.], v. 57, n. 1, p.53-58, mar. 2004. FapUNIFESP.