

Latossolo vermelho-amarelo reforçado com fibras de polipropileno de distribuição aleatória: estudo realizado com amostras de grandes dimensões

Tiago Pinto da Trindade

*Engenheiro Civil, Doutorando em Engenharia Civil, DEC/UFV, Viçosa-MG, Brasil
E-mail: tptrindade@vicosa.ufv.br*

Israel Iasbik

Engenheiro Civil, M.Sc., DEC/UFV, Viçosa-MG, Brasil

Dario Cardoso de Lima

Professor Titular, Ph.D., DEC/UFV, Viçosa-MG, Brasil

Benedito de Souza Bueno

Professor Associado, Ph.D., Departamento de Geotecnia - USP, São Carlos-SP, Brasil

Enivaldo Minette

Professor Adjunto, Ph.D., DEC/UFV, Viçosa-MG, Brasil

Resumo

O objetivo desse estudo foi caracterizar geotecnicamente o produto fibrossolo, com vistas a aplicações em obras de engenharia civil. Trabalhou-se com um tipo de solo, de textura argilosa, e pode-se avaliar, experimentalmente, via resultados de ensaios realizados em amostras de grandes dimensões, o comportamento mecânico do solo e do fibrossolo. Com esses materiais, realizou-se: (i) ensaios com o dilatômetro de Marchetti; e (ii) provas de carga com o emprego de carregamentos externos uniformemente distribuídos, aplicados na superfície dos terraplenos. Através desse trabalho foi possível avaliar a influência das fibras na capacidade de carga do solo estudado.

Palavras-chave: reforço de solos, fibrossolo, amostras de grandes dimensões e resistência mecânica.

Abstract

This study was directed to the geotechnical characterization of the material called fibersoil for civil engineering purposes. One soil was used throughout the study, encompassing a clayey soil, and can be evaluate, experimentally, from resulted of tests accomplished in samples of great dimensions, the mechanical behavior of the soil and fibersoil. For these materials, the following tests had been accomplished: (i) tests with Marchetti dilatometer, and (ii) tests with external loads evenly distributed, applied to the surface of the flat land. From the experimental testing program data it was possible to evaluate the influence of the fibers in the load capacity of the soil studied.

Keywords: soil reinforcement, fibersoil, samples of great dimensions and mechanical strength.

1. Introdução

O emprego de reforços em terraplenos de estruturas de contenção busca aumentar a resistência ao cisalhamento dos solos e, portanto, reduzir o custo das obras de arrimo.

No caso do uso de reforços que trabalham à tração, acredita-se que a função do reforço é dar ao solo uma coesão aparente, que é responsável pelo aumento de sua resistência ao cisalhamento (Schlosser & Vidal, 1969).

Um estudo desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil da UFV abordou o comportamento de estruturas de contenção com terraplenos reforçados com inclusões de geotêxteis que trabalhavam à tração (Marques, 1994). Paramentos verticais foram construídos com blocos de cimento e procedeu-se à execução manual do terraplino reforçado com tiras contínuas de geotêxtil. Os resultados do estudo comprovaram a adequação do emprego dessa técnica construtiva, para a área urbana da cidade de Viçosa-MG, e levaram às seguintes conclusões: (i) o número, o comprimento e o modo de colocação dos reforços exercem influência direta nos deslocamentos da face do muro; (ii) melhores resultados foram obtidos quando se trabalhou com inclusões engastadas no muro, adotando-se espaçamento uniforme destas ao longo da altura do terraplino e comprimentos iguais; e (iii) é de interesse a execução de uma faixa com menor grau de compactação próximo à face do muro, para fins de redução das tensões horizontais e, conseqüentemente, dos deslocamentos da face do muro.

Contudo pouca informação se tem sobre o emprego de terraplenos reforçados com inclusões aleatórias, podendo, nesse caso, considerar-se a possibilidade de ocorrência de uma restrição isotrópica à deformação do solo. Em uma abordagem direcionada aos solos arenosos reforçados com fibras de distribuição aleatória, Bueno e Lima (1999) destacam que, ao se empregarem estruturas de contenção com terraplenos de fibrossolo, vivenciam-se duas situações

de grande interesse, em termos da resistência mecânica dos solos, ou seja, as fibras elevam a resistência ao cisalhamento do solo e, ao mesmo tempo, a sua resistência à tração. Como benefícios diretos, tem-se que os empuxos sobre as estruturas de arrimo reduzem-se, pelo aumento da resistência ao cisalhamento, e permanecem constantes ao longo do tempo, em vista do aumento no valor da resistência à tração do solo. Complementam esses autores que essas duas razões são extremamente fortes para o desenvolvimento de um programa experimental de ensaios de laboratório em amostras de fibrossolo de grandes dimensões, com vistas à aplicação dos resultados em muros de arrimo urbanos, em especial na área de influência da cidade de Viçosa-MG. Nesse caso, vale destacar a infra-estrutura que a UFV dispõe para a realização de ensaios em amostras de grandes dimensões.

2. Sistema para realização de ensaios em amostras de grandes dimensões da UFV

Presentemente, a UFV dispõe de

instalações físicas para a realização de ensaios de grandes dimensões, que permitem simular o comportamento de muros de arrimo de pequeno porte e condutos enterrados (Figura 1). O sistema dispõe de duas caixas de concreto, nas dimensões 2x2x4 m, conjunto de reação em ambas às caixas e uma bolsa inflável para carregamento uniformemente distribuído, com capacidade de até 110 kPa.

Essas instalações, que respondem por uma área construída de aproximadamente 120 m², foram financiadas pela FAPEMIG e FINEP, respectivamente, via os projetos de pesquisa FAPEMIG CEX 1362/90 (“Solos Reforçados com Geotêxteis”) e FINEP 0961/93 (“Estudo da Capacidade de Carga de Solos Reforçados com Fibras Aleatórias”). Como parte das instalações, dispõe-se, também, de um sistema de aquisição de dados (WIN 5000) e de células de tensão.

Cada caixa de ensaio é constituída por uma estrutura rígida de concreto armado, com uma seção transversal em forma de “U”, com paredes na espessura de 20 cm, e encontra-se apoiada diretamente sobre o solo de fundação. Toda a caixa é reforçada por cinco quadros metálicos feitos com trilhos TB-32. A

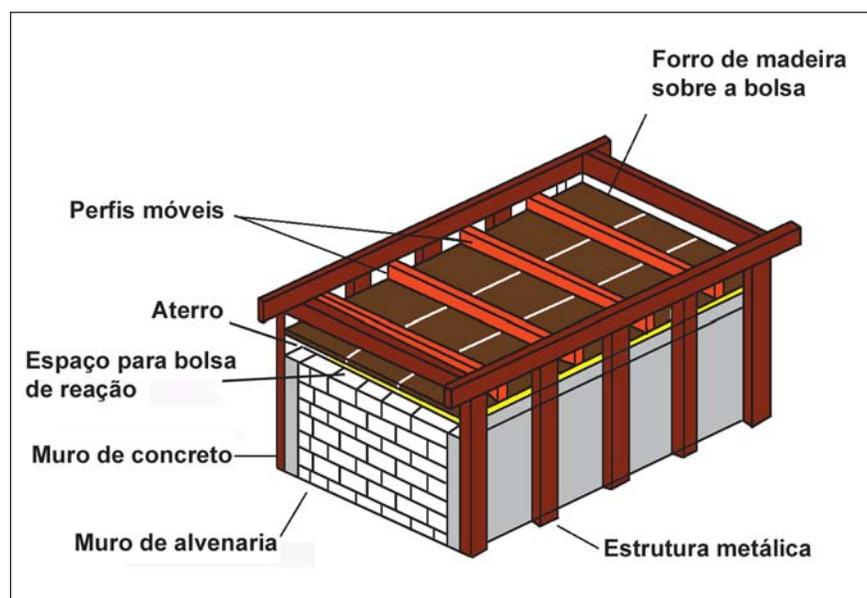


Figura 1 - Croqui esquemático da caixa de teste destinada à realização de ensaios em amostras de grandes dimensões.

barra horizontal de cada quadro é engastada na laje do fundo e, sobre as extremidades dessa laje, foram soldados dois outros trilhos verticais, dando ao quadro a característica de envolver a caixa de concreto; apenas nos dois quadros extremos são soldadas barras horizontais superiores. Os demais quadros intermediários e, inclusive, os dois extremos recebem uma barra horizontal soldada no topo de cada quadro, no sentido longitudinal da caixa. As Figuras 1 e 2 fornecem uma visão geral dos detalhes referidos.

Destaca-se que a largura da caixa, 2 m, busca reduzir o efeito do atrito e da adesão do solo nas paredes laterais, visando a garantir o comportamento segundo um estado plano de deformação nas regiões centrais da amostra. A altura, 2 m, foi escolhida de modo a possibilitar a reprodução de testes em verdadeira grandeza e atender a maioria dos casos práticos. O comprimento, variável no sentido de permitir o emprego de amostras na faixa de 2 a 4 m, possibilita melhorar as condições de trabalho do sistema no trecho central da caixa, minimizando os efeitos de borda ao longo do comprimento.

De modo a prevenir a ocorrência de avarias indesejáveis (perfuração, fadiga, etc.), a bolsa foi revestida com uma lona do tipo leve, como se apresenta na Figura 2b, e, depois de estendida sobre o aterro, a bolsa foi colocada sob um estrado de madeira, que reage com os quadros metálicos da caixa, para promover a reação à carga aplicada.

Os equipamentos do Laboratório de Engenharia Civil da UFV que são, também, utilizados no sistema de ensaios de amostras de grandes dimensões, respeitadas a disponibilidade com relação aos trabalhos em curso do grupo geotécnico, são: dilatômetro de Marchetti, conjunto para a realização de prova de carga via o ensaio de placa e para aplicação de carregamentos externos uniformemente distribuídos à superfície do terrapleno (bolsa inflável).

Entre os ensaios de campo, o dilatômetro de Marchetti, pela sua simpli-

cidade e baixo custo, é um equipamento que tem grande utilidade para a determinação de vários parâmetros geotécnicos dos solos (Marchetti, 1997), com destaque para o módulo de compressão unidirecional, módulo de Young, módulo de cisalhamento máximo, resistência ao cisalhamento não drenada, razão de sobre-consolidação, coeficiente de empuxo no repouso, densidade relativa, coeficiente de consolidação e coeficiente de permeabilidade. O ensaio dilatométrico fornece três parâmetros que refletem o comportamento mecânico dos solos, como se segue:

- Índice do material (I_d), que se relaciona com o tipo de solo, do ponto de vista da composição granulométrica. A Tabela 1 (Schmertmann, 1988) apresenta uma relação entre os valores de I_d e o tipo de solos.
- Índice de tensões horizontais (K_d), que é comumente visualizado como um parâmetro K_0 amplificado pela penetração do equipamento no solo; sabe-se, também, que esse parâmetro é de valia no entendimento do histórico de tensões de um maciço, pois apresenta forma gráfica similar ao perfil de sobreconsolidação dos solos. Schmertmann (1988) destaca que uma correlação empírica entre os índices K_d e K_0 que tem dado bons resultados para siltes e argilas é aquela sugerida por Marchetti (1980), Equação 1; para a determinação de K_0 em areias, Marchetti (1997) sugere o emprego da Equação 2.

$$K_0 = (K_d/1,5)^{0,47} - 0,6 \quad \text{(Equação 1)}$$

$$K_0 = 0,376 + 0,095 K_d - \alpha (q_c / \sigma'_{vo}) \quad \text{(Equação 2)}$$



Figura 2 - Instalações físicas para a realização de ensaios em amostras de grandes dimensões: (a) vista superior da caixa de teste, com o sistema de reação e bolsa de carregamento em posição para a execução de ensaio; e (b) bolsa de reação, capacidade de 110 kPa, com lona protetora.

Tabela 1 - Relação entre tipo de solo e o parâmetro I_d (SCHMERTMANN, 1988).

Tipos de Solo	I_d
Turfa / argila sensitiva	< 0,10
Argila siltosa	0,10 - 0,35
Silte argiloso	0,35 - 0,60
Silte	0,90 - 1,20
Silte arenoso	1,20 - 1,80
Areia siltosa	1,80 - 3,30
Areia	> 3,30

onde: $\alpha = 0,005$, para areias “maduras”, e $0,002$, para areias “jovens”.

- Módulo dilatométrico unidirecional (E_d), que, segundo Marchetti (1997), é comumente utilizado para a obtenção do módulo tangente vertical confinado drenado obtido à tensão vertical σ'_{vo} , que é o mesmo módulo obtido do ensaio edométrico [$M = (1/m_v)$]. Para coeficientes de Poisson na faixa de $0,25$ a $0,30$, pode-se obter o módulo de Young ($E' = 0,80M$).

3. Programa experimental

O solo empregado no programa experimental é de grade expressão territorial no relevo da cidade de Viçosa, localizada na Zona da Mata Norte de Minas Gerais, Brasil. Esse solo apresenta horizonte B latossólico de tonalidade avermelhada, estrutura com blocos individualizados, aspecto poroso (índice vazios de $1,158$), textura argilo-areno-siltoso (43% de argila, 38% de areia e 19% de silte). Em termos de classificação, o mesmo enquadra-se no grupo A-7-5 (18) do sistema de classificação de solos TRB (*Transportation Research Board*). O solo foi coletado no Campus da Universidade Federal de Viçosa, próximo à usina de pré-misturado a frio da cidade de Viçosa, no horizonte B de um talude de corte com aproximadamente 6 m de altura, entre $4,5$ e 6 m a partir do topo.

Para o reforço do solo, foram utilizadas fibras de polipropileno de distribuição aleatória, no teor de $0,25\%$ em relação ao peso de solo seco e com comprimento de 20 mm. Esses valores foram determinados previamente e considerados como ótimos, tomando-se por base os ganhos de resistência mecânica determinados em ensaios de compressão simples, trabalhando-se com corpos-de-prova de solo e fibrossolo moldados na energia do ensaio de compactação Proctor Normal, sendo que os resultados destes ensaios de compactação forneceram um teor ótimo de umidade ótima de $31,4\%$ e um peso específico aparente seco máximo de $14,06$ kN/m³ para

o solo e o fibrossolo (Iasbik et al., 2000).

Adotaram-se, no caso dos ensaios realizados com as amostras de grandes dimensões, amostras de $2 \times 2 \times 3$ m, do solo estudado e do respectivo fibrossolo. Foram realizados os seguintes ensaios nas amostras de solo e fibrossolo: (i) dilatométrico, com o dilatômetro de Marchetti; e (ii) provas de carga, com carregamentos aplicados através de uma bolsa de reação, com leitura de tensões totais via 3 células de tensão, sendo 2 colocadas em dois níveis diferentes da amostra e 1 na face interna do muro de face, utilizando-se o sistema de aquisição de dados WIN 5000, e com leitura dos deslocamentos da face do muro via um teodolito FUJI-KOH CO (SURAY)-TR 303-PM32127, a partir de um marco topográfico externo (ponto de deslocamento).

A parte frontal da caixa de testes constitui-se de um muro feito de blocos de cimento. A área do muro é de 4 m² e os blocos constituintes deste muro foram assentados com uma argamassa de cimento e areia de traço $1:4$. Nos ensaios realizados com o solo e o respectivo fibrossolo, o muro não apresentou qualquer tipo de engastamento, tanto nas paredes laterais da caixa, quanto na laje de fundo. Depois de executado o muro, esperou-se por um período de 7 dias para iniciar a execução do terrapleno, período este necessário para que houvesse a cura da argamassa de assentamento. Durante o processo de execução do terrapleno, não se empregou o travamento do muro de face, observando-se, então, deslocamentos do mesmo durante a compactação da amostra de solo e de fibrossolo.

Após a construção do muro de face, foram lançados, em cada camada executada, 22 carrinhos de mão cheios e rasados até as bordas com os respectivos materiais em estudo. Cada carrinho teve a massa aferida, executando cinco repetições de pesagem, para que se tivesse um valor médio da sua massa de solo, podendo-se, assim, determinar a massa de cada camada colocada na caixa de ensaio. Isso feito, determinaram-se o teor de umidade do solo e a quantidade

de água a ser adicionada ao mesmo para se atingir a umidade de compactação (teor ótimo de umidade ótima previamente determinado no ensaio de compactação), admitindo-se um variação de $\pm 0,5\%$ em torno da umidade ótima. No caso do fibrossolo, após o solo estar no teor ótimo de umidade desejado, acrescentaram-se as fibras, no percentual de $0,25\%$ em relação ao peso do solo seco e no comprimento de 20 mm. Em seguida, procedeu-se a uma criteriosa homogeneização do compósito e à sua compactação manual com o emprego de um soquete. O grau de compactação adotado para os trabalhos de compactação foi de $100 \pm 2\%$. Essa determinação foi feita através do ensaio de funil e areia. Depois de verificada e aceita cada camada, procedeu-se à sua escarificação e reiniciou-se o processo de compactação da próxima camada, até se atingir o topo da amostra. Durante o processo de execução do terrapleno, foram instaladas as células de tensão total na face do muro e no corpo do terrapleno.

Os ensaios com o dilatômetro de Marchetti foram realizados segundo as recomendações da “*American Society for Testing and Materials*” (ASTM, 1986). Empregou-se o equipamento de inserção do dilatômetro nos terraplenos desenvolvido por Paula (1998), que trabalha com velocidade de penetração bastante inferior àquela dos mecanismos hidráulicos comumente empregados, por exemplo, nos ensaios com o cone penetrométrico (CPT), que é de 2 cm/s. Esse sistema é composto de quadro metálico rígido, trados de ancoragem no solo, elemento esticador do cabo de aço com capacidade de 32 kN, cabo de aço com diâmetro de 32 mm e roldana. O ensaio foi realizado a cada 20 cm de profundidade, com início 15 segundos após o término da cravação. A leitura do parâmetro “A” foi feita de 15 a 30 segundos após o início do ensaio, respeitando-se um novo intervalo de 15 a 30 segundos entre esta e a leitura do parâmetro “B”.

4. Resultados e Discussões

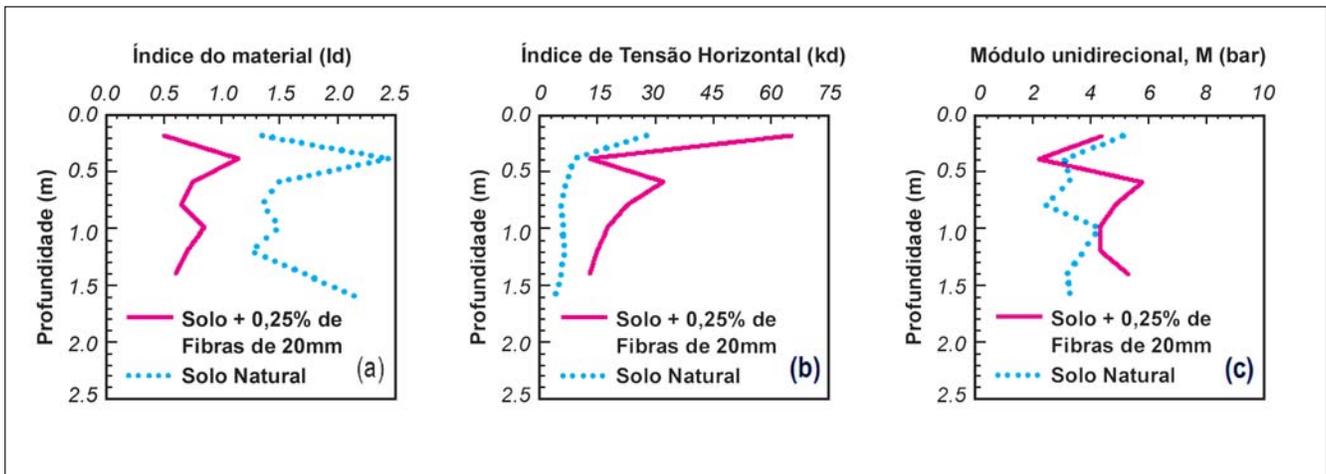


Figura 3 - Resultados dos ensaios dilatométricos realizados com o solo e com o fibrossolo: (a) Índice dilatométrico dos materiais; (b) Índice de tensão horizontal dos materiais; e (c) Módulo dilatométrico unidirecional dos materiais.

A Figura 3 mostra os resultados dos ensaios dilatométricos (Marchetti, 1997), abordando, respectivamente, o Índice dilatométrico (I_d), o Índice de tensões horizontais (K_d) e o Módulo dilatométrico unidirecional (M) dos materiais considerados nesse trabalho.

Como relatado por Marchetti (1997), o I_d de um material varia na faixa de 0,1 a 10, sendo que a parte inferior da faixa de variação identifica as argilas e a parte superior às areias. Esse autor afirma que esse parâmetro reflete mudanças no comportamento dos solos e está unicamente relacionado ao tipo de solo. O parâmetro K_d de um solo pode ser visualizado como o parâmetro K_0 amplificado pelo efeito da penetração do dilatômetro, estando esse associado ao histórico de tensões do solo, e o parâmetro M similar àquele obtido do ensaio edométrico convencional.

A Figura 3 mostra a influência das fibras na resposta mecânica dos materiais analisados, notando-se que: (i) em termos de I_d , o solo apresenta um comportamento de siltes arenosos, enquanto o fibrossolo situa-se na faixa dos siltes argilosos aos siltes, como elucidado na Figura 3a; (ii) no que se refere ao índice K_d , observa-se, na Figura 3b, que o fibrossolo exibe maior valor do que o solo e, portanto, menor susceptibilidade aos deslocamentos laterais do que o mesmo, para um mesmo nível de tensão vertical; e (iii) a Figura 3c mostra que o

parâmetro M do fibrossolo apresenta-se maior do que o do solo, o que implica menor susceptibilidade de deformação do fibrossolo em relação ao solo, confirmando o comportamento sugerido pelos valores K_d .

A Figura 4 apresenta os gráficos de deslocamentos do muro de face do terrapleno de solo e fibrossolo, para a situação em que se construíram, concomitantemente, o terrapleno e o muro de arrimo em blocos de cimento, sem fixação do muro nas faces das paredes laterais e de fundo da caixa de ensaio de amostras de grandes dimensões. O carregamento distribuído uniformemente

foi aplicado via ar comprimido agindo no interior de uma bolsa plástica, com dimensões iguais às da amostra em análise, tendo como tensão superior limite 110 kPa. Apresentam-se, na Figura 4a, em linha cheia, os resultados da prova de carga realizada no fibrossolo e, em linha pontilhada, os resultados relativos ao solo, para um carregamento de 25 kPa. Já na Figura 4b, apresentam-se, em linha cheia, os resultados da prova de carga realizada com o fibrossolo, para um carregamento de 110 kPa.

Verifica-se, na Figura 4, que a rotação e a queda do muro, em torno da sua base, ocorreram para deslocamen-

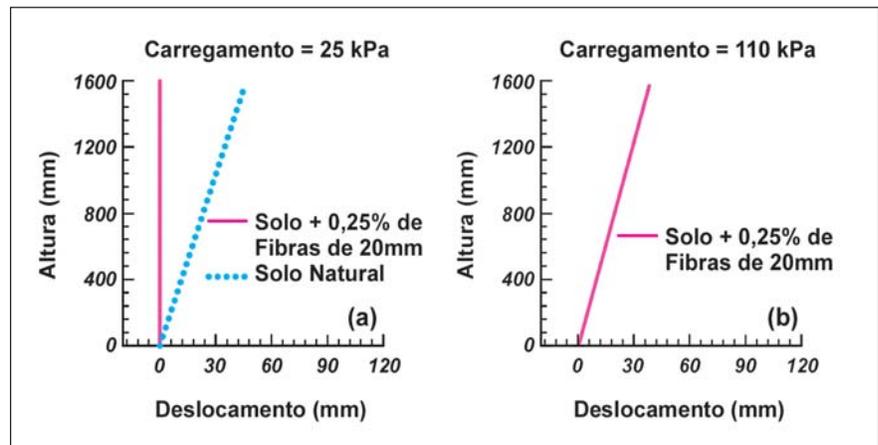


Figura 4 - Provas de carga realizadas em amostras de grandes dimensões do solo e do fibrossolo, com emprego de bolsa plástica nas dimensões de cada uma das amostras para aplicação de carregamento uniformemente distribuído: (a) deslocamentos do topo do muro para o carregamento de 25 kPa; e (b) deslocamentos do topo do muro para o carregamento de 110 kPa.

tos do topo do muro e tensões na bolsa, respectivamente, de 43 mm e 24,52 kPa e de 38 mm e 107,87 kPa. Esses dados confirmam a menor susceptibilidade à deformação apresentada pelo fibrossolo, em comparação com o solo, e já visualizada nos resultados do ensaio dilatométrico através dos valores do Módulo dilatométrico unidirecional (M) do solo e do fibrossolo.

A Figura 5 mostra detalhes dos ensaios com carregamento uniformemente aplicado com a bolsa plástica de dimensões iguais às das amostras. Observa-se, na Figura 5a, a cunha de ruptura formada após o tombamento do muro de face da amostra de solo. Na Figura 5c, tem-se o momento do tombamento do muro de face do terrapleno de fibrossolo, sendo que a foto da Figura 5b apresenta detalhes do maciço de fibrossolo, após o tombamento da face. A comparação das Figuras 5a e 5b reafirma a maior capacidade de carga e menor susceptibilidade aos deslocamentos do fibrossolo em comparação com o solo. Pode-se observar, também, que, após a queda do muro de face, houve desmoronamento da parte frontal da amostra de solo (Figura 5a), enquanto que o terrapleno de fibrossolo permaneceu estável (Figura 5b).

5. Conclusão

A partir dos resultados apresentados no presente estudo, pode-se concluir que: (i) os resultados dos ensaios dilatométricos mostraram que a adição de fibras ao solo diminuiu a susceptibilidade a deslocamentos laterais e deformações do terrapleno; (ii) as fibras promoveram um aumento na capacidade de carga do solo; e (iii) após a queda do muro de face, parte da amostra de solo desmoronou e o terrapleno de fibrossolo permaneceu intacto.

6. Agradecimentos

Os autores desejam expressar os seus agradecimentos à FAPEMIG e FINEP, pelo financiamento dos projetos que viabilizaram a construção das

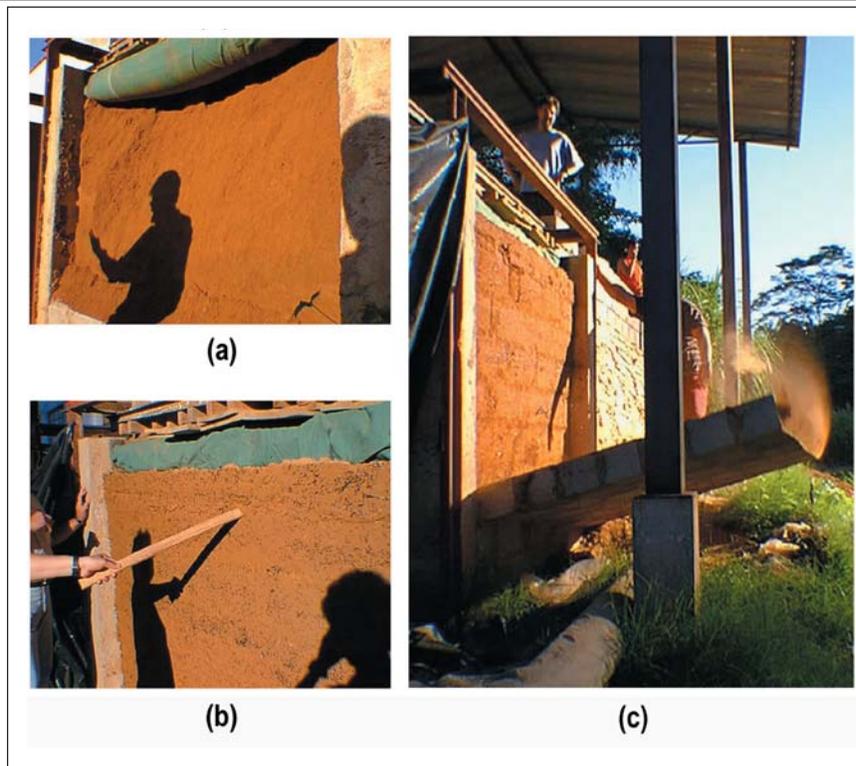


Figura 5 - Detalhes dos ensaios realizados com o solo e o fibrossolo: (a) vista da frente da caixa de ensaios para amostras de grandes dimensões, com visualização da amostra de solo, logo após o tombamento do muro de face do terrapleno; (b) vista da frente da caixa de ensaios para amostras de grandes dimensões, no momento do tombamento do muro de face do terrapleno de fibrossolo; (c) vista da frente da caixa de ensaios para amostras de grandes dimensões, com detalhe do terrapleno de fibrossolo após o tombamento do muro de face.

instalações usadas na realização dos ensaios em amostras de grandes dimensões, e ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor. Agradecimentos são também extensivos à empresa ORPEC - Indústria e Comércio Ltda., sediada na cidade de Curitiba, Paraná, por ter fornecido as fibras nas dimensões adotadas no presente estudo, na forma de laminetes.

7. Referências bibliográficas

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Suggested method for performing the flat dilatometer test. *Geotechnical Testing Journal*, v. 9, n. 2, p. 93-101, 1986.
- BUENO, B. S., LIMA, D. C. *Estudo da capacidade de cargas de solos reforçados com fibras aleatórias*. Relatório final de projeto de pesquisa Processo FINEP 096/93. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 94 p.
- IASBIK, I., TRINDADE, T. P., LIMA, D. C., BUENO, B.S., MINETTE, E., CARVALHO, C. H. S. Resistência mecânica do fibrossolo: caracterização via ensaios de compressão simples com vistas ao uso em estradas florestais. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 6. (FOREST 2000). *Anais...* Porto Seguro, 23 a 26 de outubro, 2000. p. 257-259.
- MARCHETTI, S. In situ tests by flat dilatometer. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, v. 106, n. GT3, March, 1980. p. 299-321.
- MARCHETTI, S. The flat dilatometer desing application. In: Geotechnical Engineering Conference, *Proceedings...*, Cairo: Cairo University, 1997. p. 299-321.
- MARQUES, G. L. O. *Uso de geotêxteis em muros de contenção de pequeno porte*. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa - Imprensa Universitária, 1994. 126 p., (Tese de mestrado).
- PAULA, M. C. *Ensaio dilatométrico em um solo residual de gnaiss*. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa - Imprensa Universitária, 1998. 176 p., (Tese de mestrado).
- SCHLOSSER, F., VIDAL, H. *Reinforced Earth*. Bulletin de Liaison des Laboratoires Routiers-Pontes et Chaussées, 1969. 41 p.
- SCHMERTMANN, J. B. *DMT Test Methods and Data Reduction*. Final Report, March, Schmertmann & Crapps, Inc., Gainesville, FL, 1988. 322 p.

Artigo recebido em 05/01/2003 e
aprovado em 16/11/2004.