

# GEOSINTÉTICOS E PNEUS: ALTERNATIVAS DE ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

*Ana Cristina Castro Fontenla Sieira<sup>1</sup>*

**Resumo:** O presente trabalho discute aspectos relacionados a duas diferentes técnicas de estabilização de taludes e obras de terra. A primeira técnica consiste na estabilização de encostas através da construção de muros constituídos de pneus descartados. Para tanto, será apresentado um projeto de pesquisa que culminou na construção do primeiro muro experimental de pneus do Brasil. A determinação dos parâmetros representativos do comportamento de muros de pneus será apresentada, juntamente com os principais aspectos construtivos e o comportamento mecânico do muro, referente à deformabilidade. A segunda técnica consiste na execução de muros reforçados com materiais geossintéticos. Reportam-se, neste trabalho, aspectos relacionados à determinação de parâmetros de resistência na interface solo-reforço e uma experiência prática relacionada à execução de um muro reforçado com geotêxteis para o alteamento de uma barragem de resíduos sólidos. Como principais conclusões, destaca-se o potencial de materiais geossintéticos como elementos de reforço de solo, permitindo a execução de taludes mais íngremes, e a utilização de materiais não convencionais (pneus) na execução de muros de gravidade, associando baixo custo, viabilidade técnica e demanda de resíduos sólidos industriais.

**Palavras-Chaves:** Estabilização de Taludes, Geossintéticos, Pneus.

**Abstract:** The present paper discusses aspects related to two different techniques of slope stabilization. The first technique consists of the stabilization through the construction of tires retaining walls. For so much, it will be presented a research project that culminated in the construction of the first experimental wall of tires in Brazil. The determination of the representative parameters of the behavior of tire walls will be presented, together with the main constructive aspects and the mechanical behavior of the wall. The second technique consists of the execution of walls reinforced with geosynthetics. This paper presents aspects related to the determination of resistance parameters in the soil-reinforcement interface and a practical experience related to the execution of a wall reinforced with geotextiles in a dam of solid residues. As main conclusions, to stand out the potential of geosynthetics materials as elements of soil reinforcement, and the use of tires walls as an attractive alternative which associates efficient mechanical performance with low cost, and demand of industrial solid residues.

**Key-Words:** Slope Stabilization, Geosynthetics, Tires.

---

<sup>1</sup> Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, PGECIV. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ. sieira@uerj.br

## 1. INTRODUÇÃO

Regiões de clima tropical, com subsolo constituído por solo residual, apresentam frequentemente problemas de instabilidade de encostas naturais. Na cidade do Rio de Janeiro, em particular, investimentos significativos têm sido feitos em contenção de encostas e estabilização de taludes. Este investimento poderia ser significativamente reduzido através da adoção de novas metodologias de estabilização.

Atualmente, o aparecimento de novos materiais e a freqüente utilização de materiais não convencionais em obras de estabilização têm despertado o interesse de pesquisadores em todo o mundo.

O enfoque do presente trabalho está na apresentação de duas técnicas distintas de estabilização. A primeira técnica está dirigida ao consumo substancial de pneus inservíveis, buscando o aproveitamento de um rejeito prejudicial ao meio ambiente. Esta técnica, que consiste na execução de muros de gravidade constituídos de solo e pneus, procura associar a eficiência mecânica do pneu e o baixo custo, aproveitando e despertando para o uso de materiais não convencionais. O dimensionamento de muros de pneus é semelhante ao dimensionamento de qualquer tipo de muro de gravidade, e requer o conhecimento do peso específico do material que constitui o muro.

A segunda técnica, bastante difundida e pesquisada atualmente, consiste no reforço de solo com materiais geossintéticos. A introdução de elementos geossintéticos na massa de solo apresenta vantagens técnicas e econômicas, permitindo a adoção de estruturas mais íngremes e com menor volume de aterro compactado. O dimensionamento de maciços reforçados requer o conhecimento dos parâmetros de resistência na interface solo-reforço, que podem ser definidos a por ensaios de campo e/ou laboratório.

Serão apresentadas neste trabalho duas pesquisas relacionadas com a estabilização de taludes a partir da execução de muros de pneus e de solo reforçado com geossintéticos.

Adicionalmente, será reportado um caso prático de alteamento de uma barragem de resíduos a partir da execução de um muro de solo reforçado com geotêxteis.

## 2. MUROS DE PNEUS

### 2.1. DESCRIÇÃO DA PESQUISA

Um amplo projeto de pesquisa foi executado visando o estudo de uma técnica de estabilização de taludes de execução simples e dirigida ao consumo de pneus descartados. Este projeto envolveu a participação de Universidades (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, e Universidade de Ottawa, Canadá) e de órgão da Prefeitura do Rio de Janeiro (Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, Geo-Rio) e contou com o apoio do *International Development Research Centre*, Canadá.

O projeto foi centrado na construção de um muro experimental instrumentado, executado com pneus dispostos em camadas horizontais. Neste muro, os pneus foram amarrados horizontalmente com arame ou corda e preenchidos com solo compactado (Medeiros et al, 1997).

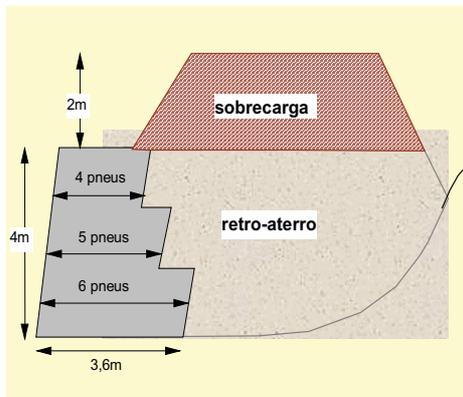
O muro experimental de pneus foi estabelecido em uma área plana, no Rio de Janeiro, a jusante de uma encosta que apresentava sinais de instabilidade. O muro foi construído com 60,0m de comprimento e 4,0m de altura, consumindo cerca de 15 mil pneus inservíveis. Foram utilizados pneus com aproximadamente 0,60m de diâmetro e 0,20m de largura de banda de rolamento, dimensões típicas de pneus de veículos de passeio. Os pneus eram posicionados horizontalmente, amarrados entre si e preenchidos com solo residual local, compactado. Atrás do muro, foi executado um retroaterro com o mesmo material de preenchimento dos pneus. Ao término da construção do muro, foi adicionada uma sobrecarga de 2,0m de altura de solo ao retroaterro.

O muro experimental foi composto de 4 seções transversais distintas (Tabela 1), com o objetivo de comparar o comportamento de diferentes arranjos (pneus cortados *versus* pneus inteiros, amarração com corda *versus* arame, e distintas geometrias).

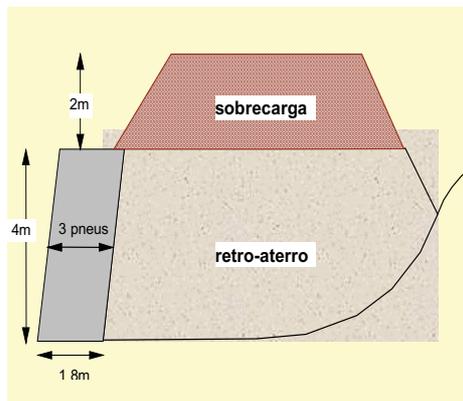
A Figura 1 esquematiza as diferentes seções do muro. As seções A, B e C apresentam 6 pneus na base e 4 pneus no topo (Figura 1a). A seção D (Figura 1b) foi projetada com uma geometria mais esbelta, apresentando uma largura constante e igual a 3 pneus (1,8m). Esperava-se que, ao término da construção do muro e adição da sobrecarga, esta seção sofresse ruptura, o que não ocorreu (Sieira, 1998).

**Tabela 1. Características das seções transversais do muro experimental de pneus**

Seção	Largura da Base ( $L_B$ )	Largura do Topo ( $L_T$ )	Configuração dos Pneus	Tipo de Amarração	Seção Transversal Esquemática
A	6 pneus	4 pneus	Inteiros	Corda	
B	6 pneus	4 pneus	Cortados	Corda	
C	6 pneus	4 pneus	Cortados	Arame	
D	3 pneus	3 pneus	Cortados	Corda	



(a) Seções A, B e C



(b) Seção D

Figura 1. Seções transversais de projeto do muro experimental de pneus

Nas seções B, C e D os pneus tiveram a banda lateral removida (Figura 2). Após o corte, a banda lateral era colocada dentro do pneu, evitando a geração de rejeitos secundários e contribuindo para o enrijecimento radial.

A amarração dos pneus das seções A, B e C foi executada com cordas de polipropileno com 6,0mm de diâmetro. Cordas com diâmetro inferior podem se deteriorar ou romper durante a vida útil da obra. Diâmetros superiores dificultam a confecção do nó de amarração. Na seção C, os pneus foram amarrados com arame de gabiões, protegido contra corrosão por uma cobertura plástica de PVC.



Figura 2. Configuração dos pneus: inteiros versus cortados.

## 2.1. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

A construção do muro apresentado no presente trabalho foi realizada com equipamentos leves, sem a necessidade de mão de obra qualificada.

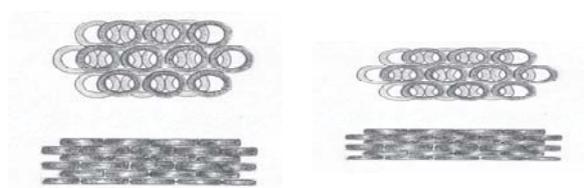
Após a limpeza e o nivelamento do terreno, lançou-se a primeira camada de pneus diretamente na superfície (Figura 3). As demais camadas foram posicionadas observando-se a disposição descaçada dos pneus, de forma a se obter um melhor entrosamento e menos espaços vazios, como mostra a Figura 4. Desta forma, os centros dos pneus entre as sucessivas linhas ficam desalinhados.



Figura 3. Posicionamento das camadas iniciais de pneus



Figura 6. Amarração dos pneus



(a) Vista superior

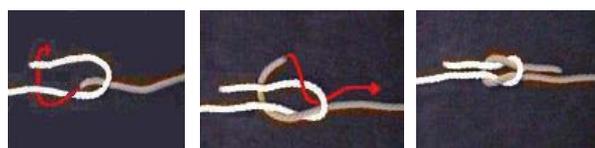
(b) Vista lateral

Figura 4. Disposição dos Pneus no Muro

Em seguida procedeu-se à amarração dos pneus. Recomenda-se a utilização do nó de amarração do tipo “marinheiro”, cujo processo de execução está apresentado na Figura 5. Este tipo de nó apresenta a característica de ficar mais apertado na medida em que é solicitado. Na Figura 6, podem-se observar detalhes da amarração com corda.

Após a fase de amarração, os espaços vazios foram preenchidos com solo local compactado, lançando-se camadas de 0,25m de espessura. A compactação do solo no interior dos pneus foi executada com um compactador hidráulico manual.

A construção do muro de pneus consiste em uma seqüência de operações: lançamento de uma camada de pneus, amarração, compactação do solo no interior dos pneus, e lançamento da camada de pneus subsequente. Este processo se repete até que o muro atinja a altura especificada em projeto.



Passo 1

Passo 2

Passo 3

Figura 5. Processo Executivo do Nó de Marinheiro (A.N.C., 2003)

### 2.3. OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DO MATERIAL SOLO-PNEU

A construção do muro teve como objetivos principais analisar a viabilidade de construção de muros de pneus, determinar os parâmetros representativos do material composto solo-pneu e analisar a deformabilidade do muro.

Os parâmetros necessários para análise da estabilidade e do comportamento tensão-deformação de muros de pneus são: peso específico e módulo de deformabilidade do material composto “solo-pneu”.

O peso específico do material solo-pneus foi determinado a partir de ensaios de densidade no campo, com a construção de uma cava, em forma de paralelogramo, com volume bem definido. Nesta cava, foram introduzidos os pneus preenchidos com o solo compactado. A forma da cava foi estabelecida para garantir a ocupação de todo o volume da mesma com os pneus. A Figura 8 apresenta a distribuição dos pneus no interior da cava.

Os resultados indicaram que o peso específico do conjunto solo-pneus varia entre 15,50kN/m<sup>3</sup>, quando se utilizam pneus inteiros, e 16,50kN/m<sup>3</sup>, quando são utilizados pneus cortados. Desta forma, verifica-se que a remoção de uma banda lateral produz um material com maior densidade, tendo em vista a maior facilidade de compactação do solo no interior dos pneus.



Figura 8. Cava construída para ensaios de densidade no campo

A deformabilidade das diferentes seções do muro de pneus foi analisada numericamente a partir de um programa de elementos finitos. Os parâmetros de deformabilidade foram determinados a partir da simulação numérica do processo construtivo e do comportamento do muro experimental (Sieira, 1998; Sieira et al, 2001). As análises forneceram para as seções A, B, C e D, módulos de deformabilidade iguais a 1,8, 2,5, 3,0 e 2,5MPa, respectivamente. Observa-se uma maior rigidez do conjunto solo-pneus cortados (seções B, C e D).

Estas análises foram realizadas confrontando-se os deslocamentos horizontais medidos pela instrumentação instalada em campo (inclinômetros), com os deslocamentos previstos nas análises numéricas.

### 2.3. COMPORTAMENTO MECÂNICO

Os movimentos horizontais da massa de solo foram acompanhados por inclinômetros, instalados no interior do muro de pneus (Medeiros et al, 1997 e Sieira et al, 2001).

A partir dos resultados apresentados na Figura 9, pode-se verificar que:

- A remoção da banda lateral (seção A x seção B) reduz de forma significativa a magnitude dos deslocamentos, sendo a diferença máxima de aproximadamente 12mm.
- A amarração dos pneus (seção B x seção C) com arame reduziu os deslocamentos horizontais em até 20%.

Ressalta-se que a remoção de uma banda lateral facilita o preenchimento dos pneus com o solo durante a construção, diminuindo assim o índice de vazios. Como resultado, o material solo-pneu

cortado apresenta-se menos deformável e mais homogêneo do que o material solo-pneu inteiro.

A escolha do tipo de amarração deve também levar em conta outros aspectos de ordem prática, como facilidade de execução e custo do material. Durante o processo construtivo, verificou-se que, enquanto o arame pode ser ajustado com alicate comum, a amarração com corda é mais trabalhosa e demorada, pois requer a confecção artesanal de um nó especial, do tipo marinho.

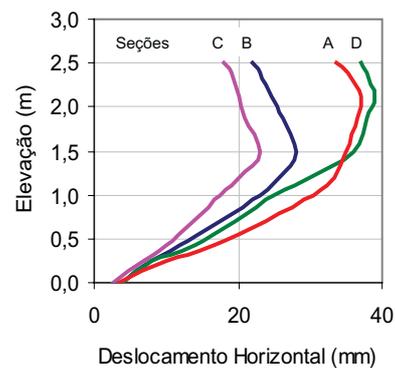


Figura 9. Deslocamentos horizontais medidos nas 4 seções ao final da construção.

Os maiores deslocamentos foram observados na seção D, a qual foi projetada com geometria mais esbelta. É interessante notar, entretanto, que esses deslocamentos foram razoavelmente compatíveis com os medidos na seção A, como resultado do acréscimo de rigidez conferido ao material com a remoção da banda lateral.

A construção do muro experimental, reportado no presente trabalho, mostrou a viabilidade da técnica, que se apresenta como uma alternativa que combina a eficiência mecânica do pneu e o baixo custo de execução quando comparada às técnicas convencionais de estabilização de encostas. Além disso, cabe destacar a facilidade de execução, que dispensa equipamentos pesados ou mão de obra qualificada, favorecendo a adesão da população em comunidades de baixa renda.

Cabe comentar também, a possibilidade de utilização de malhas de pneus como elementos de reforço de solo. Neste caso, o maciço reforçado é construído, alternando-se camadas de pneus amarrados e solo compactado. Os parâmetros de resistência na interface, necessários ao projeto deste tipo de estrutura, podem ser obtidos a partir de ensaios de arrancamento no campo (Gerscovich et al, 2006).

### 3. SOLO REFORÇADO COM ELEMENTOS GEOSSINTÉTICOS

#### 3.1. CONCEITO DE SOLO REFORÇADO

A técnica de reforço de solos utiliza inclusões de materiais naturais ou sintéticos, que apresentam resistência à tração, no interior da massa de solo. A utilização de inclusões permite que as obras de terra possam ser construídas com geometria mais ousada e, portanto, redução de volume.

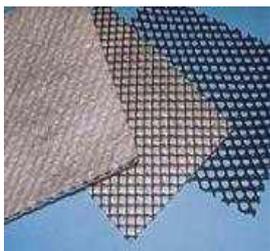
Os solos possuem em geral resistência elevada a esforços de compressão, porém baixa resistência a esforços de tração. Os geossintéticos absorvem e redistribuem os esforços da matriz de solo, limitando as deformações laterais das estruturas reforçadas. A transferência favorável de tensões é controlada por dois fatores básicos: a resistência à tração do geossintético sob condições confinadas e a resistência ao arrancamento do geossintético da massa de solo.

A resistência à tração dos materiais geossintéticos é determinada em ensaios de tração e é, em geral, fornecida pelo fabricante destes materiais. A resistência ao arrancamento está relacionada com a interação entre o geossintético e o meio circundante (solo), e é geralmente determinada por ensaios de arrancamento no campo, ou em laboratório.

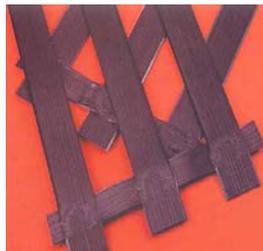
#### 3.2 GEOSSINTÉTICOS UTILIZADOS COMO REFORÇO

Dentre os geossintéticos utilizados para reforço de solo estão os geotêxteis e as geogrelhas (Figura 10).

Os geotêxteis consistem em mantas contínuas, compostas de fibras cortadas, filamentos contínuos, monofilamentos, laminetes ou fios, formando estruturas tecidas, não-tecidas ou tricotadas, cujas propriedades mecânicas e hidráulicas permitem que desempenhe várias funções numa obra geotécnica (Figura 10a).



(a) Geotêxteis



(b) Geogrelhas

Figura 10. Tipos de Geossintéticos Utilizados como Reforço

As geogrelhas são formadas por elementos resistentes à tração, integralmente conectados, possuindo uma estrutura em forma de grelha. A estrutura polimérica possui aberturas que permitem a interação com o meio em que estão confinadas. As geogrelhas atuam basicamente como elementos de reforço de solos (Figura 10b).

#### 3.3. DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA NA INTERFACE

O dimensionamento de uma obra de solo reforçado necessita do conhecimento dos parâmetros de resistência (atrito) na interface solo-reforço. Estes parâmetros podem ser obtidos em laboratório, a partir de ensaios de arrancamento, ou de cisalhamento direto. Collios et al (1980) afirmam que no caso de maciços reforçados o deslocamento de arrancamento dos reforços predomina em relação ao solo envolvente. Neste caso, a opção pelos ensaios de arrancamento é a mais adequada. Além disso, no caso de utilização de geogrelhas, apenas os ensaios de arrancamento permitem quantificar a contribuição do empuxo passivo mobilizado nos elementos transversais da grelha.

O presente trabalho apresenta resultados de uma pesquisa experimental que envolveu ensaios de arrancamento com geogrelhas (Sieira, 2003), de forma a ilustrar a determinação dos parâmetros de resistência na interface solo-reforço.

#### 3.4. DESCRIÇÃO DA PESQUISA

Os ensaios apresentados no presente trabalho constituem parte de um programa experimental executado no Laboratório de Geotecnia do CEDEX, Madri (Sieira, 2003), que teve como objetivo o estudo experimental dos mecanismos de interação desenvolvidos na interface solo-geogrelha.

O equipamento utilizado foi desenvolvido no Laboratório de Geotecnia do CEDEX (Madri), sendo originalmente concebido para o estudo da resistência ao cisalhamento de materiais granulares grossos. No entanto, devido às grandes dimensões, o equipamento possibilita, também, a execução de ensaios de arrancamento e de cisalhamento direto em corpos de prova contendo materiais geossintéticos.

A Figura 11 apresenta uma foto do equipamento que é capaz de ensaiar corpos de prova aproximadamente cúbicos de 1m de aresta.

O princípio de funcionamento do equipamento é o mesmo dos ensaios de cisalhamento direto convencionais. No entanto, nos ensaios de arrancamento, uma garra especial é adaptada ao macaco hidráulico horizontal, com a finalidade de produzir o deslocamento horizontal do geossintético (Castro, 1999).

A Figura 12 apresenta um resultado típico de ensaio de arrancamento, executado com uma geogrelha tecida imersa em solo arenoso. A geogrelha ensaiada caracteriza-se mecanicamente por uma resistência à tração de 97kN/m no sentido longitudinal, e de 29,4kN/m no sentido transversal. A areia utilizada apresenta um intercepto coesivo da ordem de 15kPa e um ângulo de atrito de 37°.

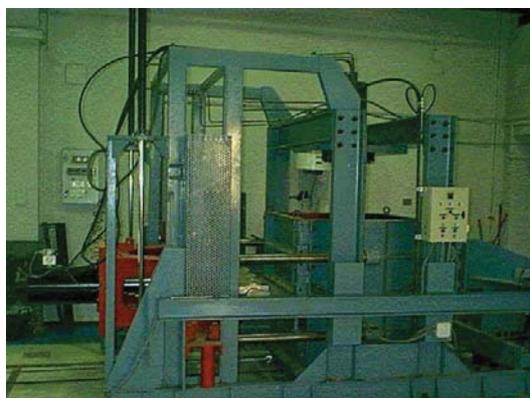


Figura 11 - Equipamento de Cisalhamento Direto de Grandes Dimensões

Os resultados mostram que a resistência ao arrancamento aumenta com o nível de confinamento (Figura 12a). As curvas são suaves e não apresentam pico bem definido. Nos ensaios executados sob tensão confinante de 50kPa, a geogrelha rompeu por tração na garra, não caracterizando uma solitação de arrancamento. Maiores detalhes sobre os resultados dos ensaios de arrancamento podem ser obtidos em Seira e Sayão (2002).

A partir dos resultados de ensaios de arrancamento, determina-se a envoltória de resistência na interface (Figura 12b), definida pela expressão:

$$\tau_{SG} = c_a + \sigma \cdot \tan \delta \quad [1]$$

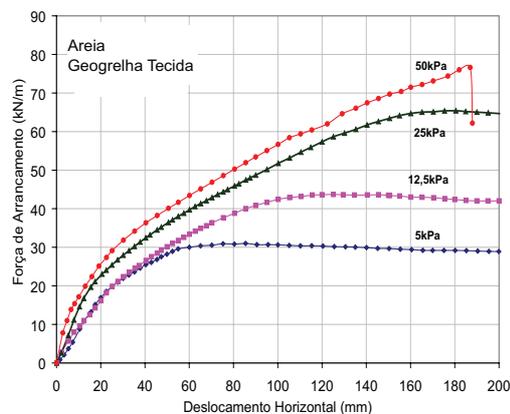
onde:  $\tau_{SG}$  é a tensão cisalhante na interface solo-geossintético,  $\sigma$  é a tensão confinante, e  $c_a$  e  $\delta$  são os parâmetros de resistência na interface.

A tensão cisalhante na interface ( $\tau_{SG}$ ) é determinada pela razão entre a força de arrancamento máxima ( $F_a$ ), obtida nas curvas apresentadas na

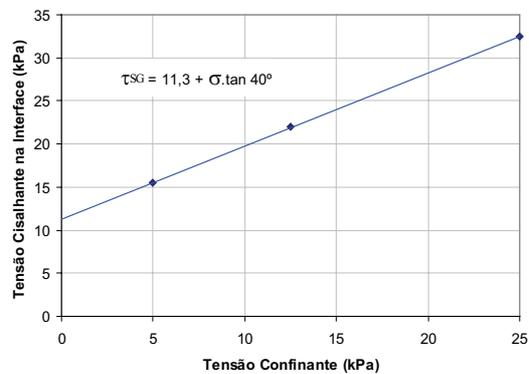
Figura 12a, e a área do geossintético em contato com o solo ( $A$ ).

A adesão solo-reforço ( $c_a$ ) e o ângulo de atrito na interface ( $\delta$ ) são, respectivamente, o coeficiente linear e o coeficiente angular da envoltória de resistência.

Os parâmetros de resistência na interface são fundamentais para o projeto de maciços reforçados com geossintéticos e variam significativamente em função do tipo de solo e de geossintético utilizados. Estes parâmetros representam a interação entre o elemento de reforço e o solo envolvente. Cabe ressaltar a importância da execução de ensaios de arrancamento para a definição de parâmetros confiáveis.



(a) Curvas Força de Arrancamento versus Deslocamento Horizontal



(b) Envoltória de Resistência da Interface

Figura 12. Resultados de Ensaio de Arrancamento em Geogrelhas

#### 4. CASO PRÁTICO DE UTILIZAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS EM MUROS DE SOLO REFORÇADO

A Barragem dos Peixes está situada em terreno da Votorantim Metais Zinco, em Juiz de

Fora, e destina-se a receber os resíduos sólidos da fábrica.

O depósito foi criado por fechamento de vale, onde originalmente existiam pequenos diques de piscicultura, através de uma barragem de terra cujo eixo está situado no encontro com o vale principal.

Todo o vale do reservatório e a região da barragem são formados por baixada aluvionar sobrejacente a solo residual de gnaiss. A presença de solo aluvionar se constitui no principal condicionante geotécnico para o projeto da barragem, requerendo, por segurança, a sua implantação por etapas e com velocidade controlada.

A barragem apresenta crista com largura de 5m, altura máxima de cerca de 20m e taludes médios de 5H:1V a montante, e taludes com inclinações: 2H:1V, 3H:1V a jusante, construídos através de bermas de estabilização. A Figura 13 apresenta uma foto da Barragem dos Peixes e seu reservatório em operação.

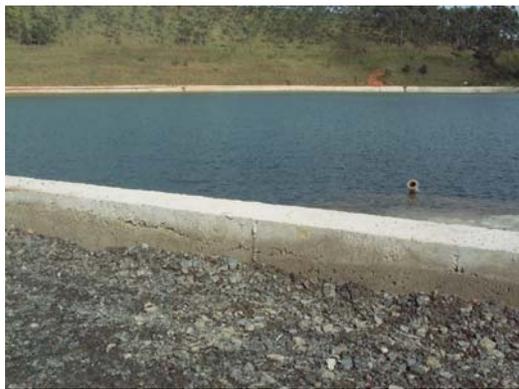


Figura 13 – Vista geral da Barragem dos Peixes e reservatório

Em virtude do atraso na conclusão de outro reservatório da Votorantim Metais Zinco, unidade de Juiz de Fora, e da necessidade de se continuar operando a Barragem dos Peixes neste período, foi solicitado o estudo de alteamento/vida útil para a barragem em operação.

Os estudos de enchimento do reservatório indicaram que um alteamento da barragem de 2,0m implicaria em um aumento de vida útil de aproximadamente 12 meses. Este tempo seria suficiente para a conclusão do outro reservatório e conseqüente encerramento da Barragem dos Peixes.

Em função dos condicionantes geotécnicos e da necessidade de não interromper o lançamento de resíduos na barragem, diferentes alternativas foram selecionadas considerando as

limitações de espaço disponível na crista. Foram excluídas alternativas que implicassem em aterros adicionais sobre os taludes e bermas de jusante da barragem.

A análise técnico-econômica das soluções indicou que a alternativa de Muro de Solo Reforçado com Geotêxtil apresentou o melhor desempenho, sendo a opção mais adequada às exigências técnicas de projeto (Lima et al, 2006).

A Figura 14 apresenta o detalhamento da solução. O projeto consistiu na execução do alteamento de 2,00m da barragem com solo compactado envolto em camadas de geotêxtil não tecido de resistência à tração superior a 21kN/m<sup>2</sup>, espaçadas de 0,30m, conformando o maciço de solo reforçado numa extensão de aproximadamente 250m.

No talude de montante, foi feita a união da geomembrana existente de PVC com o segmento novo de manta, que foi devidamente ancorado na crista do maciço.

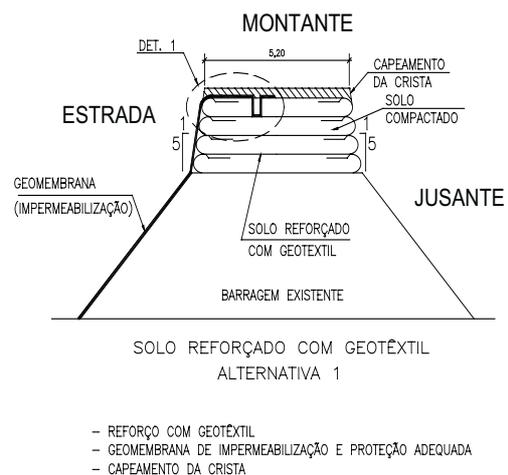


Figura 14. Alteamento através da execução de um muro de solo reforçado com geotêxtil.

A proteção do talude de jusante foi executada com concreto projetado manualmente sobre tela metálica e execução de jardineira no pé do talude para plantio de vegetação, de forma a minimizar o impacto visual do talude revestido com o concreto projetado.

As Figuras 15 e 16 apresentam vistas dos taludes de montante e jusante, respectivamente.

Lima et al (2006) apresentam os resultados das análises da estabilidade da barragem após o alteamento, tanto ao final de construção, quanto a longo prazo. Os resultados indicaram uma redu-

ção pouco significativa (inferior a 5%) do fator de segurança (FS) com o alteamento de 2,0m.

Em termos da estabilidade localizada da crista, as análises não indicaram problemas de estabilidade, uma vez que o fator de segurança obtido foi de 1,7 para o alteamento de 2,00m, superior ao requerido para barragens de resíduos (FS > 1,30).



Figura 15. Vista do talude de montante



Figura 16. Vista geral do talude de jusante

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou aspectos relacionados a duas diferentes técnicas de estabilização de taludes e obras de terra: muros de contenção de pneus (material não convencional) e muros reforçados com geossintéticos.

Em relação à execução de muros de pneus, foi apresentado um projeto de pesquisa que culminou na construção de um muro experimental instrumentado. Aspectos relacionados à determinação de parâmetros de projeto, aspectos construtivos e resultados de instrumentação de campo

foram apresentados, indicando que a utilização de pneus na construção de muros é uma alternativa viável, que associa eficiência mecânica e baixo custo, propiciando a demanda de um rejeito prejudicial ao meio ambiente.

Sobre maciços reforçados com geossintéticos, foram apresentados os resultados de uma pesquisa experimental para a determinação dos parâmetros de resistência na interface solo-reforço, e um caso prático de execução de muros reforçados com geotêxteis para alteamento de uma barragem de resíduos sólidos. Como conclusão, destaca-se o potencial de materiais geossintéticos como elementos de reforço de solo, permitindo a execução de taludes mais íngremes e com menor volume de solo compactado.

Cabe ressaltar que a adoção de novas metodologias de estabilização e o uso de materiais não convencionais podem reduzir significativamente o custo deste tipo de obra.

## AGRADECIMENTOS

A autora agradece ao Prof. Alberto Sayão, do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, pela orientação das pesquisas sobre pneus e geogrelhas.

Agradece, também, ao Laboratório de Geotecnia do CEDEX, Madri, pela disponibilidade de equipamentos, e às empresas LPS Engenharia e Consultoria Ltda e Votorantim Metais Zinco, Unidade Juiz de Fora, pela disponibilização do projeto de alteamento da Barragem dos Peixes.

## BIBLIOGRAFIA

A.N.C.- Associação Nacional de Cruzeiros (2003) – Homepage da Associação Nacional de Cruzeiros [www.edinfor.pt](http://www.edinfor.pt).

CASTRO, D. C. (1999). Ensaio de Arrancamento de Geogrelhas no Campo e no Laboratório. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, Departamento de Engenharia Civil, 135p.

COLLIOS, A., DELMAS, P. e GOURC, J. (1980). Experiments of Soil Reinforcement with Geotextil. In: Symposium Use of Geotextil for Soil Improvement, New York. ASCE, pp. 53-73.

GERSCOVICH, D.M.S.; SAYÃO, A.S.F.J.; VALLE, F. (2006). Mecanismo de Ruptura de Reforço de Solos com Pneus. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Curitiba. XIII COBRAMSEG, v.4. p. 2413-2418.

LIMA, S.P.; SIEIRA, A.C.C.F. e DUTRA, F. (2006). Solução para Alçamento de uma Barragem de Rejeitos em Operação. XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Curitiba

MEDEIROS, L.V.; SAYAO, A.S.F.J.; GARGA, V.K. e ANDRADE, M.H.N. (1997). Use of Scrap Tires in Slope Stabilization. 2<sup>nd</sup> Panamerican Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, Brazil, vol. 1, pp. 637-643.

SIEIRA, A.C.C.F. (1998). Análise do Comportamento de um Muro de Contenção Utilizando Pneus. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, Brasil, 110p.

SIEIRA, A.C.C.F. (2003). Estudo Experimental dos Mecanismos de Interação Solo-Geogrelha. Tese de Doutorado, DEC, PUC-Rio, 360p.

SIEIRA, A.C.C.F.; SAYÃO, A.S.F.J. (2002). Estudo Experimental dos Mecanismos de Interação Solo-Geogrelha. 8<sup>o</sup> Congresso Nacional de Geotecnia, 2002, Lisboa. v. 1. p. 1569-1578.

SIEIRA, A.C.C.F.; SAYAO, A.S.F.J.; MEDEIROS, L.V. & GERSCOVICH, D.M.S. (2001). *Behaviour of a Scrap Tires Wall for Slope Stabilization* (in Portuguese), Geotecnia (Portuguese Geotechnical Journal), no. 91, pp. 39-55.