

# MURO VERDE DE CONTENÇÃO COM O USO DE VETIVER EM ÁREA DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL

**Andrade, FLB**

Andrade Engenharia

Email: [fernando@vetiverbr.com.br](mailto:fernando@vetiverbr.com.br)

## RESUMO:

O MURO VERDE conjuga técnicas e métodos inovadores de engenharia natural envolvendo conhecimentos de vegetação em intervenções construtivas de baixo impacto ambiental. Assim, além de diminuir a intervenção no meio ambiente vai de encontro à realidade das áreas de preservação ambiental.

Este case, relata obra executada em Santana do Parnaíba-SP/Brasil, em uma área de preservação ambiental com aproximadamente 1100 m<sup>2</sup> de face, com 27,40 metros de altura.

A técnica utilizada consiste na conformação de sistemas de contenção utilizando geogrelhas, solos e vegetação. O papel das geogrelhas é reforçar a massa de solo compactada enquanto a vegetação exerce papel fundamental no controle de erosão superficial e agregação de solo orgânico.

Os muros foram executados através da compactação de um aterro em camadas de 20 cm, intercalado com geogrelhas de alta resistência e alto módulo. O conjunto do aterro somado as geogrelhas resultam em uma massa de solo estável que funciona como um muro de peso. Na face foram utilizados sacos biodegradáveis que sofrerão processo biológico de transformação de resíduos orgânicos em substâncias húmicas, levando a formação de uma camada orgânica revestida de um geotextil degradável com função de agregador do solo até que ocorra o crescimento da grama vetiver, espécie *Vetiveria zizanioides*, em toda a extensão do muro. Utilizamos assim uma técnica de bioengenharia para estabilização de face do muro verde de contenção evitando assim as erosões superficiais e proteção do meio ambiente. O vetiver foi plantado em fileiras para formar uma cobertura na qual é muito eficaz em retardar e espalhar o escoamento da água, reduzir a erosão do solo, conservar a umidade do solo e favorecer o acúmulo de nutrientes, melhorando o seu microambiente para que outras plantas nativas semeadas ou voluntárias possam estabelecer-se mais tarde. As raízes do vetiver possuem papel fundamental para o sucesso do muro, pois sua profundidade e a quantidade generosa agregam o solo, tornando muito difícil que ocorra uma desagregação da massa de solo debaixo de fluxos de água em alta velocidade. Este sistema bem profundo de raízes, e de rápido crescimento também faz com que o sistema vetiver se torne muito tolerante à seca e altamente adequado para estabilização do muro.

Tradicionalmente os projetos de contenção de encostas e taludes utilizam-se de materiais à base de cimento. O sistema verde de contenção possui uma proposta inovadora com alta eficiência e baixo custo se comparado aos tradicionais sistemas de engenharia. É utilizada uma tecnologia avançada de engenharia natural com geossintéticos e utilização do sistema vetiver em sua face, tratando-se de uma obra limpa, rápida e altamente ecológica.

**Palavras Chaves:** muro de contenção, geogrelhas, bioengenharia, redução de custos.

## **GARDEN RETAINING WALL WITH THE USE OF VETIVER IN ENVIRONMENTAL CONSERVATION AREA**

**Andrade, FLB**

Andrade Engenharia

Email: [fernando@vetiverbr.com.br](mailto:fernando@vetiverbr.com.br)

### **Abstract**

The green wall combines innovative techniques and methods of natural engineering involving knowledge of vegetation in constructive interventions with low environmental impact. Thus, besides reducing intervention in the environment goes along with the reality of environmental preservation areas.

This case, reports the work performed on Santana do Parnaíba-SP/Brazil in an environmental protected area with approximately 1100 m<sup>2</sup> of front and 25 meters tall.

The technique consists in formation of containment systems using geogrids, soil and vegetation. The role of geogrids is to strengthen the mass of compacted soil while the vegetation plays a fundamental role in the control of superficial erosion, retention of sediments and aggregation of soil.

The walls are executed by compacting layers of a landfill by 20 cm (7.87 inches), interspersed with high strength geogrids. The landfill associated with geogrids result in stable soil mass, which acts as a wall weight. At the front were used: biodegradable bags with local soil, geotextile and Vetiver slips across the wall face.

There was no provision for any type of irrigation to develop the vegetation on site. The available water was coming from occasional rains occurred in subtropical climate.

We used the vetiver system in vegetation to stabilize the front wall of the retaining wall green, thus preventing surface erosion, sediment entrainment and environmental protection. Vetiver was planted in rows to form a hedge, which is very effective in slowing and spreading water runoff, reducing soil erosion, conserving soil moisture and promoting the accumulation of nutrients, improving their microenvironment in order to have other native plants sown or volunteer plants establish themselves later.

The vetiver roots play a crucial role in the success of the wall, because its depth and its generous amount of aggregate root to the soil, it appears to be very difficult to cause a collapse of the soil mass under high water flow speed. This very deep root system and a rapid growth also make the system vetiver become very resistant to drought and highly suitable for stabilizing the wall.

Traditionally, projects containment embankments and slopes using cement-based materials. The green containment system has an innovative proposal with efficiency and low cost in comparison with conventional systems engineering. It uses a technology engineering natural ally to geosynthetics and application of vetiver system in front, with a clean, quick and highly ecological work.

Key Words: green wall, geogrids, bioengineering, reducing costs.

## Introdução

Neste trabalho é apresentada uma solução de engenharia adotada para proteger uma nascente em um terreno bastante acidentado na região do município de Santana do Parnaíba, próximo à capital do estado de São Paulo.

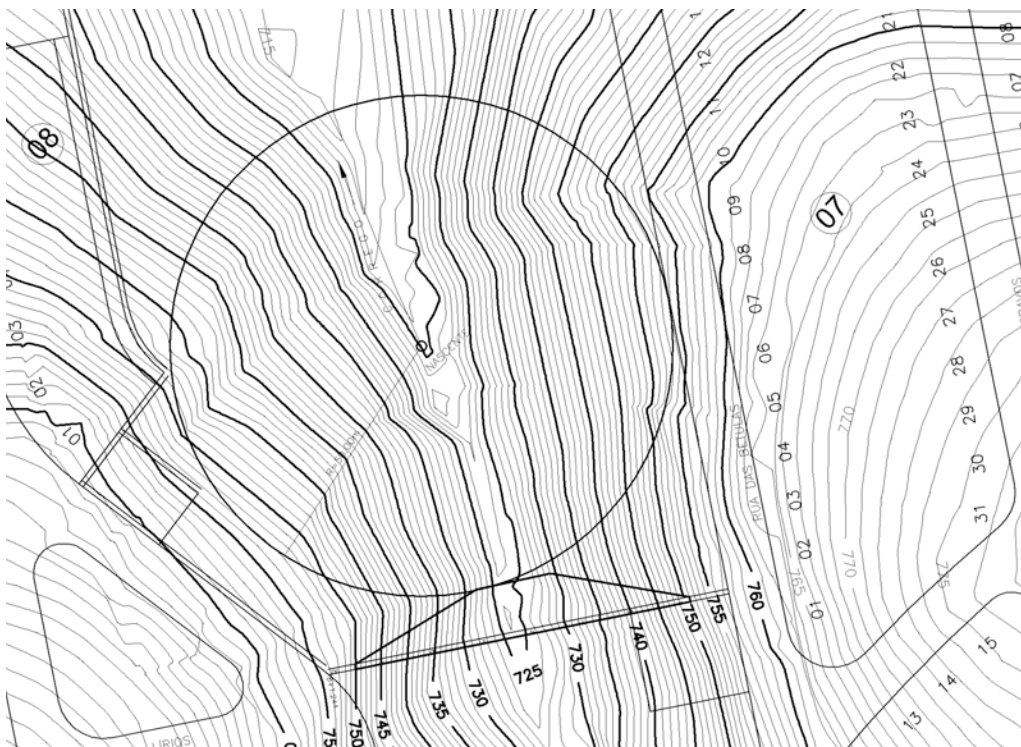


Figura 1 – Planta com curvas de nível, posição da nascente e do muro

O empreendimento previa uma série de movimentos de terraplenagem para criar quadras e lotes residenciais em uma área de aproximadamente 250.000 m<sup>2</sup>. O terreno era bastante acidentado e existia uma nascente em um talvegue com aproximadamente 30 m de desnível desde a nascente até o topo.

A solução necessariamente envolvia a execução de muros de contenção, principalmente para conter as saias de aterro nos locais próximos às áreas de preservação ambiental. As técnicas tradicionais de estruturas de contenção que envolve a utilização de concreto e/ou gabião não se mostravam adequadas do ponto de vista ambiental e econômico.

A partir de estudos topográficos, cálculos de volumes de corte/aterro e estimativas de custo, concluímos que a melhor alternativa seria a execução de um muro em solo reforçado com altura máxima de 27 m e comprimento de crista de 70 metros. A solução permitia a utilização do solo local como aterro e a face do muro vegetada pela planta Vetiver para aumento de cisalhamento do solo na face, que por sua vez estaria de frente a uma APP (Área de Preservação Permanente).



## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução do muro utiliza-se solo local, geogrelhas, geotextil, sacos biodegradáveis e vetiver, todos os são fáceis de transportar na obra.

O muro verde é um muro de contenção utilizado para possibilitar a implantação da infraestrutura do empreendimento em local de topografia acidentada com baixo impacto ambiental e utilizando o solo local como material construtivo do muro.

O muro é executado através da compactação de um aterro em camadas, intercalado (reforçado) com geogrelhas de alta resistência e alto módulo. O conjunto do aterro mais geogrelhas resulta em uma massa de solo estável que funciona como um muro de peso. Na face são utilizados sacos biodegradáveis preenchidos com solo, geotextil e vetiver que são colocadas entre os sacos e a geogrelhas conforme seção transversal abaixo.

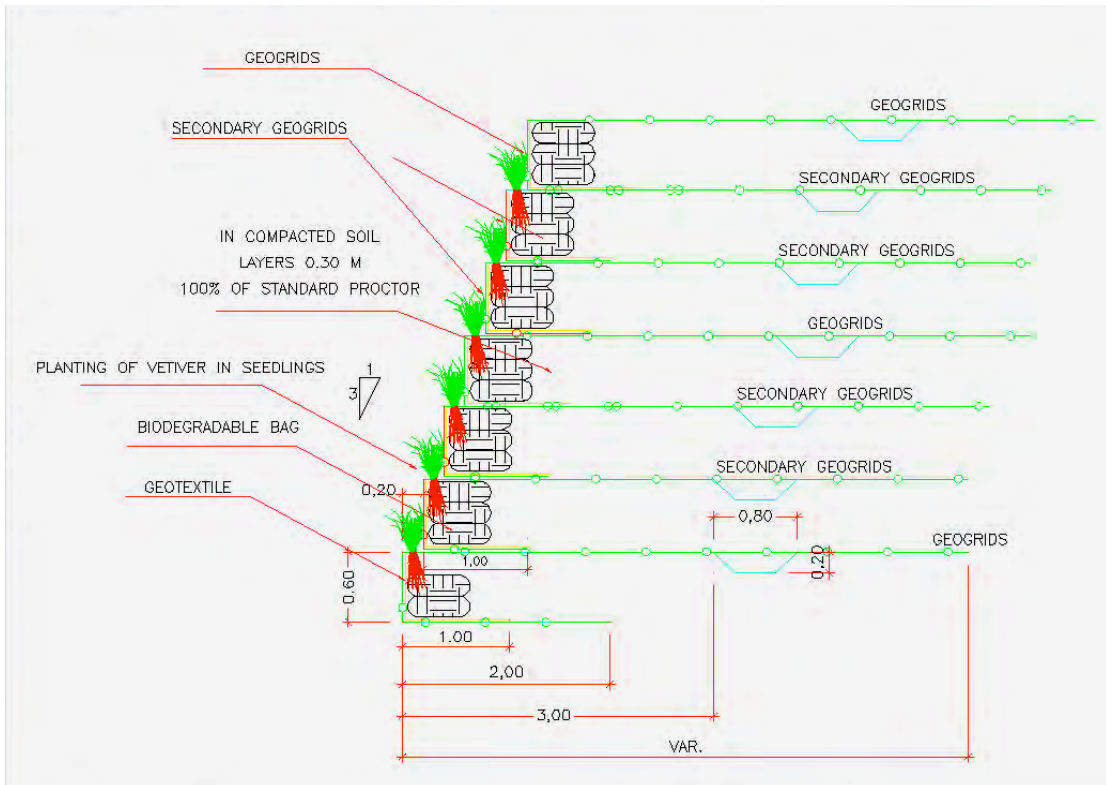


Figura 3 – Seção transversal do muro com vetiver

### Métodos de análise

- Dimensionamento externo

Segundo Brugger *et al*, 2005, o dimensionamento externo consiste basicamente em determinar o comprimento dos reforços para que a estrutura do solo reforçado como um todo resista ao empuxo da massa de solo no seu tardoiz sem tombar, deslizar e com tensões verticais na base inferiores às tensões admissíveis que o solo de fundação suporta.

É recomendado utilização de comprimentos mínimos para reforços de 70% da altura total do muro e não inferiores a 3,0 m (BS 8006). Para muros de grandes alturas, desde que seja satisfeita a condição de equilíbrio ao tombamento e ao deslizamento, os reforços na metade inferior do muro podem ser reduzidos até um mínimo de 40% da altura total com comprimentos escalonados até 50% da altura. Na metade superior da altura, os reforços devem ter no mínimo 60% da altura em qualquer situação.

Pela grande altura do muro, existia a preocupação com o solo de fundação da estrutura, que receberia tensões verticais da ordem de  $600 \text{ kN/m}^2$  no bordo externo do muro. As sondagens realizadas no local indicavam a ocorrência de uma camada pouco espessa de solo residual assente sobre rocha medianamente alterada. A base foi escavada de modo de remover o solo residual e foi realizada uma drenagem em toda base e o muro foi apoiado em rocha aletrada. Com capacidade de carga adequada para suportar o carregamento imposto da contenção.



Figura 4 – Detalhe da rocha alterada na fundação

- Dimensionamento interno

Segundo Dantas & Ehrlich, a análise da estabilidade interna de uma estrutura de solo reforçado passa pela determinação da tensão máxima atuante nos reforços, que é o aspecto mais importante nesta etapa de projeto. Esta tensão é decorrente da interação solo-reforço, que promove a transferência de esforços, seja por atrito ou por resistência passiva, do solo para o reforço. Dividindo-se a massa em zona ativa e zona resistente, a estabilidade da primeira está assegurada desde que, sob ação das cargas, não haja ruptura por traço do reforço e embutimento na zona resistente seja suficiente para evitar seu arrancamento.

De modo geral em muros de grande altura, procura-se induzir durante a compactação das camadas, esforços verticais que provoquem um “pré carregamento” no solo e reforço. Deste modo, as deformações decorrentes da construção das demais camadas de aterros serão menores.

Para esta obra, foram utilizadas geogrelhas de PVA cujos fatores de redução são certificado. Foram utilizados reforços principais com espaçamento de 1,80 metros e comprimentos de 12 a 17 metros intercalados com reforços secundários com espaçamento de 0,60 metros e comprimento de 5 metros.

Ao longo dos estudos foram realizados dois principais tipos de análises, uma através do método de dimensionamento de Ehrlich e Mitchell como citado e outro através do software GGU-Stability.

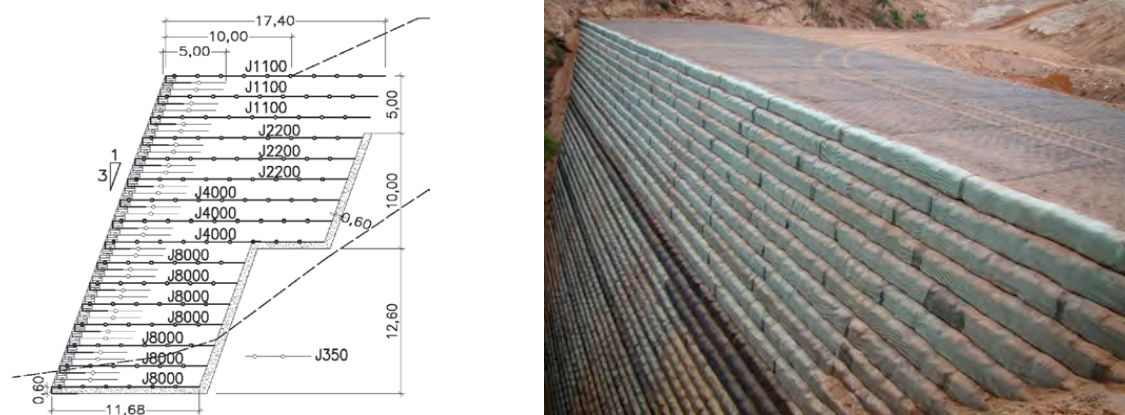


Figura 5 – Seção transversal do muro e montagem

- Análises de estabilidade

Dados úteis ao dimensionamento do muro:

H= 27,60 metros

Inclinação: 3V:1H

Sv= 1,8 metros entre reforços principais

Sv = 0,6 metros entre reforços secundários

$\sigma_{z,i} = 100\text{kPa}$  (Tensão vertical induzida pelo compactador, constante)

Solo de aterro:  $\gamma = 18\text{ kN/m}^3$ ,  $c = 20\text{ kPa}$ ,  $\phi = 30^\circ$

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

- Importância do vetiver para face do muro verde

O muro foi executado em um período de poucas chuvas e a face foi revegetada após o término da obra com o plantio de mudas de Vetiver, uma espécie de grama que possui enraizamento rápido e bastante profundo.

As raízes de Vetiver desempenham um papel fundamental para o sucesso da face do muro, pois a grande profundidade atingida pela densa raiz, de até 2,3 m no primeiro ano, contribui para dificultar a desagregação da massa de solo sob os fluxos de água a alta velocidade. Por outro lado, a ocorrência de raízes profundas torna a vegetação muito tolerante à seca, preservando a face vegetada.

Sua resistência à tração média é de cerca de 75 MPa, o equivalente a 1/6 da resistência do aço, tornando sua aplicação eficiente na estabilização de encostas íngremes.

As mudas foram plantadas em fileiras, de forma a diminuir a velocidade de escoamento da água na face, reduzindo a erosão do solo, conservando sua umidade e promovendo o acúmulo de nutrientes. Assim, objetivou-se a melhoria das condições do microambiente, para que outras plantas nativas ou cultivadas possam se estabelecer conforme a figura 6.

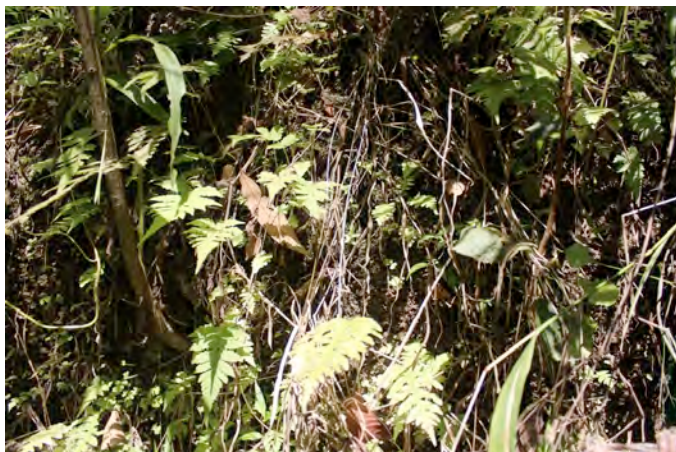


Figura 6 – Plantas nativas inseridas espontaneamente

O solo utilizado para preenchimento dos sacos biodegradáveis era areno-siltoso onde o teor de matéria orgânica é muito baixo. Observou-se que o teor de matéria orgânica aumentou consideravelmente após os anos (figura 7) e conseqüentemente maior presença de raízes na interação solo-raiz. Estudos realizados mostram aumento de matéria orgânica em amostras de solo de 0-60 cm onde a amostra sem vegetação possui 10,1 % de MO e solo com três anos de plantio de capim vetiver houve aumento de 11,8% de MO.





Figura 7 – Amostra de solo teor de MO antes e depois

A matéria orgânica aumenta a resistência do solo à compressão, quando predominam os efeitos de aumento dos parâmetros de cisalhamento, aumento de tensão capilar com aumento de coesão aparente, diminuição do efeito água na redução da fricção entre partículas, redução da densidade por efeito de diluição e aumento de elasticidade do solo (Braida et al., 2010).

Para evitar a perda de material na face durante a obra foi colocado um geotêxtil não tecido de 150 g/m<sup>2</sup> de face entre a geogrelhas envelopada e a face em sacos de biodegradáveis. Verificou um acúmulo de raízes junto ao geotêxtil e a geogrelhas conforme as figuras 8 e 9.



Figura 8 e 9 – Interações raiz x geogrelhas e raiz x geotêxtis

### **Resistências e forças das raízes.**

O muro possui alto nível de resistências pelo o uso de geogrelhas na parte interna, em função da coesão (a habilidade de partículas para atrair e segurar um ao outro juntos) e atrito interno (o atrito entre os grãos dentro de um material) que se opõe forças motrizes.

No muro verde a inclinação é muito alta, assim o uso de geogrelhas na parte interna junto com o vetiver na face externa resulta em uma ótima estabilização do maciço de solo. A estabilidade do muro é uma função do tipo de solo, sua força, geometria inclinação (altura, ângulo), vegetação, clima e tempo. Cada um desses fatores pode desempenhar um papel significativo no controle da condução ou resistir a forças.

As características do vetiver são adequadas para estabilização de face do muro, pois possuem atributos exclusivos que garantem a boa conservação do sistema e é realmente uma ferramenta muito eficaz bioengenharia:

- Apesar de ser tecnicamente uma grama, plantas de vetiver utilizados em aplicações de estabilização da terra se comportam mais como árvores de crescimento rápido ou arbustos. As raízes do Vetiver são por unidade de área, mais fortes e mais profundas do que as raízes das árvores.
- A raiz do Vetiver é muito profunda e maciça finamente estruturada, que pode se estender até 2-3 metros (seis a nove pés) no primeiro ano, sua raiz é extensa e espessa que liga o solo, o que torna muito difícil de deslocar, e extremamente tolerante à seca.
- Tão forte ou mais forte do que os de muitas espécies de madeira dura, raízes de vetiver tem alta resistência à tração que tenha sido comprovado positivo para reforço de raiz em encostas íngremes.
- As raízes têm uma média testado resistência à tração de cerca de 75 Mega Pascal (MPa), o que equivale a 1 / 6 da armadura de aço leve e um incremento de resistência ao cisalhamento de 39% a uma profundidade de 0,5 m (1,5 pés).
- As raízes podem penetrar em um perfil de solo compactado que facilitou sua utilização no muro verde, proporcionando uma boa âncora para preenchimento e solo.
- As plantas foram plantadas em conjunto que formarão sebes densas que reduzem a velocidade de propagação do fluxo, e desviar a água da enxurrada, e criar uma forma muito eficaz de filtro que controla a erosão.
- Atuando como um filtro muito eficaz o vetiver ajudar a reduzir a turbidez do escoamento superficial, suas novas raízes desenvolvem a partir de nós quando enterrado por sedimentos capturados.

## Conclusões

A implantação do sistema de muros verdes de contenção mostrou importante simbiose meio-ambiente x construção civil, pelos seguintes motivos:

- O trabalho de resistência das geogrelhas de poliéster e as raízes do vetiver formam uma simbiose perfeita para estabilização de grandes maciços de solo.
- Diminuição do impacto ambiental em fauna e flora locais.
- Uso da grama vetiver na face externa dos muros possui dupla função: Agregar, diminuir o risco de erosão superficial e conservar a umidade necessária para o desenvolvimento do sistema radicular na estabilização de face do aterro.
- A possibilidade de consórcio de espécies da flora local para a face do muro enriquecendo a biodiversidade local.
- Melhor resultado estético em relação aos demais muros de contenção reforçados com cimento ou concreto.
- Redução dos custos para transporte de materiais, considerando que o acesso é difícil e a terra utilizada é do próprio local de execução.
- O uso de mão de obra não especializada (ajudantes de produção) permite a contratação de funcionários na região da obra, gerando assim novas oportunidades a população local.

Considera-se, portanto que tal sistema proporciona mínima transformação do homem ao meio ambiente, qualificando-o para seu uso em diversas situações em que haja necessidade de soluções ecologicamente viáveis.

## Referências Bibliográficas

BARBOSA, M.C.R.,LIMA, H.M. Resistência ao cisalhamento de solos e taludes vegetados com capim vetiver. Bras. Ci. Solo, 37:113-120

BRAIDA, J.A.: REICHERT, J.M.; DALVAN, J.; REINERT, D.J. & VEIGAM, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um nitossolo e um argissolo. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 14:131 – 139,2010

Brugger, P. J., e Montez, F. T. (2003) Muros de Contenção em Solo Reforçado com Geogrelhas e Blocos Segmentais. Geossintéticos 2003, Porto Alegre, Brasil.

Brugger, P. J., Silva, A. E. F. Furtado, D. C. e Saramago, R. P. (2005) ForTerraie – Programa para o Dimensionamento e o Detalhamento de Muros de Contenção e Blocos Segmentais. Infogeo 2005, Belo Horizonte, Brasil.

Ehrlich, M. e Mitchel, J. K. (1994) Working Stress Design Method For Reinforced Soil Walls. Journal of Geotechnical Engineering. Vol 120, No. 4, pp. 625-647.

DALTON, P.A. *et al.* Vetiver grass hedges for erosion control on a cropped flood plain: hedge hydraulics: Manual técnico. Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, Toowoomba, Qld. 4350, Australia, 1996. Acesso em 20 de agosto 2013.

EINLOFT, Rosilene *et al.* Boletim técnico: Índice de priorização para avaliar a contenção vegetativa em talude rodoviário de saprolito de gnaiss, na zona da mata de Minas Gerais. Bragantia, Campinas, 2p (v.68, n.1) 2009 Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v68n1/a22v68n1.pdf>>. Acesso em 18 agosto 2013.

FIORI, A.P. & CARMIGNANI, I. Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas, aplicações na estabilidade de taludes. 2.ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2009. 602p.

HENGCHAOVANICH, D. & NILAAWEERA, N. Na assessment of strength properties of vetiver grass roots in relation to slope stabilization. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VETIVER,1., Bangkok, 1996. Anais... Bangkok,1996. CD ROM

PEREIRA. Aloísio Rodrigues *et al.* Boletim técnico:Uso do Vetiver na estabilização de taludes e encostas.Belo Horizonte: FAPI Ltda, 2006. 20 p.(ano 1 /nº 003) Disponível em:<<http://www.vetiver.com/BRA>>. Acesso em 17 agosto 2010.

PEREIRA. Aloísio Rodrigues *et al.* Boletim técnico: Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas. Belo Horizonte: FAPI Ltda, 2006. 06 p.(ano 1 /nº 002)

TRUONG, Paul; et al. Sistemas de aplicação Vetiver: Manual de referência técnica. Pernambuco: Rede internacional de Vetiver. 2ed, 2008. 116p. Disponível em: <[http://www.vetiver.org/BRA\\_Brazil\\_Port\\_o.pdf](http://www.vetiver.org/BRA_Brazil_Port_o.pdf)>. Acesso em 18 agosto 2010.