

# Implantação de técnicas de bioengenharia de solos no controle da erosão no baixo São Francisco, estado de Sergipe

R. N. Araújo - Filho<sup>1</sup>; F. S. R. Holanda<sup>1</sup>; K. R. Andrade<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Agrônômica/Laboratório de Erosão e Sedimentação, Universidade Federal de Sergipe, CEP 49100000, São Cristóvão-SE, Brasil

nepoaraujo@gmail.com

(Recebido em 02 de julho de 2012; aceito em 22 de julho de 2013)

**Resumo:** A estabilização dos taludes por meio de técnicas simples propõe promover melhorias estéticas, ecológicas e conservação na área de produção. A bioengenharia de solo, que é uma técnica correta do ponto de vista ecológico e estético, utiliza-se de conhecimentos biológicos para estabilização de encostas de terrenos e margens de cursos de água. Os objetivos deste trabalho foram apresentar as técnicas de bioengenharia de solos utilizadas e descrever a implantação de projeto de bioengenharia de solo na margem do rio São Francisco. O sítio experimental estudado está localizado na margem sergipana do baixo curso do Rio São Francisco, apresenta talude verticalizado, recuo de margem, desmoronamento de massa de solo e solapamento da base com ausência de vegetação ripária. Para implantação das biotécnicas, o sítio experimental foi dividido em dois experimentos no sentido montante à jusante do rio. No primeiro experimento, na base do talude foi utilizada a técnica do enrocamento vegetado, com estacas vivas de sabiá e plantio da gramínea vetiver e no topo do talude foram colocados retentores de sedimento Bermalonga®. No segundo experimento, na base do talude foi utilizada a técnica de parede enrocada, sobre biomanta, com rochas intercaladas com as estacas vivas, e no talude, implantadas biomantas fotodegradáveis compostas de 100% de fibra de coco, com plantio de estacas vivas de aroeira e sabiá. A combinação das técnicas de bioengenharia com a engenharia tradicional utilizadas na margem do São Francisco possibilitou maior proteção à base do talude e desenvolvimento da vegetação.

Palavras-chave: Erosão marginal; biomanta; biotécnicas

## Implementation of soil bioengineering techniques for erosion control of the Lower São Francisco, Sergipe State

**Abstract:** The stabilization of slopes by means of simple techniques proposed promote aesthetic improvements, ecological and conservation in the production area. Bioengineering of soil, which is a correct technique from the standpoint of ecological and aesthetic, makes use of biological knowledge for slope stabilization and land banks of watercourses. The objectives were to introduce the techniques of soil bioengineering used and describe the implementation of soil bioengineering project on the waterfront in San Francisco. The experimental site studied is located on the lower course of the São Francisco River, has vertical slope, a decrease of margin collapse mass of soil and undermining the base with no riparian vegetation. For deployment of biotechnologies, the experimental site was divided into two experiments in the feeling of the river upstream to downstream. In the first experiment, the base of the slope technique was used in rockfill vegetated with live cuttings of thrush and planting of vetiver grass and on top of the slope sediment retainers were placed Bermalonga ®. In the second experiment, the base of the slope technique was used enrocada wall on biodegradable blanket, with rocks interspersed with live cuttings, and on the slope, photodegradable implanted biodegradable blankets made from 100% coconut fiber, with the planting of live cuttings mastic and thrush. The combination of bioengineering techniques used in traditional engineering on the shore of San Francisco provided greater protection to the base of the slope and vegetation growth.

Keywords: marginal erosion, biodegradable blanket; biotech.

## 1. INTRODUÇÃO

Os rios e cursos d'água têm grande importância no desenvolvimento econômico e social no Brasil. Os múltiplos usos desses recursos naturais os tornam fundamentais em todas as regiões do país. O comportamento de um curso d'água depende de inúmeras variáveis, destacando-se a interação dos fatores físicos, meteorológicos, edáficos e cobertura vegetal, correlacionados com as ações antrópicas pregressas atuante no curso d'água [23]. Dentre as ações antrópicas, pode ser destacada a construção de barragens em rios que implica mudança nas condições naturais do curso d'água [22].

O baixo curso do rio São Francisco teve seu comportamento hidrossedimentológico alterado pelas modificações no canal fluvial através do represamento das águas para implantação de reservatórios de grandes projetos hidrelétricos. Isto resultou na regularização da vazão e descargas de sedimentos, controle de enchentes, retenção de sedimentos, degradação da vegetação ciliar, erosão marginal, recuo da margem e perda de área agricultável [13].

As modificações na dinâmica fluvial acentuam os processos erosivos no leito e nas margens do canal fluvial. A erosão marginal na margem direita do baixo São Francisco foi resultante do abaixamento da cota do rio, com maior exposição do talude que desencadeou os processos de movimentos de massa de solo no talude na forma de grandes blocos [14].

A estabilização de taludes marginais no controle do processo erosivo deve utilizar técnicas com soluções simples, porém com atuação ampla na bacia hidrográfica, para promover melhorias estéticas, ecológicas e de produção na área [17, 23]. A bioengenharia de solo é uma técnica adotada de fácil implementação, correta do ponto de vista ecológico e estético, e utiliza-se de conhecimentos biológicos para estabilização de encostas de terrenos e margens de cursos de água [23].

A técnica de bioengenharia de solo ou engenharia natural consiste no uso de materiais vegetais vivos ou inertes, em combinação com materiais de suporte natural ou sintético [15], como rochas, madeiras [4], concretos, polímeros e mantas confeccionadas com fibras vegetais, que são chamados de geotêxteis ou biomantas [9]. A técnica proporciona o aumento da resistência do solo em diversas condições de declividade e granulométrica [7], em obras de estabilização de solos e sedimentos [23] e em obras para restabelecer a vegetação [25].

O componente estrutural da bioengenharia de solo para estabilização do solo é a vegetação [17]. Para essa finalidade, deve-se conhecer as características técnicas da vegetação para o melhor aproveitamento e desenvolvimento no local da estabilização do solo e no controle do processo erosivo [24].

As técnicas de bioengenharia de solo são aplicadas em taludes para reduzir e controlar a erosão superficial e restringir o movimento de massa do solo. Elas podem ser executadas separadamente ou associadas [4] a técnicas de engenharia tradicional.

As principais técnicas de bioengenharia de solo são: estacas vivas, feixes vivos, drenos vegetados, camada de ramos, ramos envelopados, recuperação de voçorocas, paredes vegetadas, manta de arbustos, barreiras vivas, geogrelhas vegetadas, espigão com árvores, gabiões de pedra com vegetação, proteção vivas de taludes, paliçadas vivas, hidrosemeadura, enrocamento de pedras, geossintéticos e retentores de sedimentos.

O objetivo deste trabalho foi apresentar as técnicas de bioengenharia de solos utilizadas e descrever a implantação de projeto de bioengenharia de solo na margem do rio São Francisco.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O ensaio experimental foi realizado na margem direita do baixo São Francisco, município de Amparo de São Francisco, Sergipe (coordenadas UTM N= 8.868.789,506 / E= 736.583,864). O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Flúvico [11].

O clima do trecho sedimentar do baixo São Francisco, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am (clima megatérmico úmido e subúmido) com temperatura média anual de 25° C, sendo dezembro o mês mais quente, com temperaturas entre 26 e 27 °C, e junho o mês mais frio, com temperaturas em torno dos 23° C. A precipitação média anual é de 744,0 mm ano<sup>-1</sup>, com variações na distribuição das chuvas ao longo do ano, com período chuvoso entre os meses de março e agosto e o período seco entre os meses de dezembro e fevereiro [6].

O talude marginal estudado foi identificado, por meio de campanhas de campo para reconhecimento do local, e levantadas informações referentes ao nível de degradação (cobertura vegetal incipiente, estágio e tipo do processo erosivo), proximidade do talvegue, características do terreno (declividade, textura e estrutura do solo, comprimento da rampa), apresentando as seguintes dimensões: comprimento 100 m, largura: 15 m, perfazendo uma área total de 1500 m<sup>2</sup>, altura média de 6 m, inclinação média de 89,7 %, Vazão média do curso d'água de 2557 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.

### 2.2 Caracterização física do solo

A caracterização física do solo determinará os atributos físicos presentes no solo. Tal caracterização ocorreu através da coleta de amostras de solo em campo e análise em laboratório. O plano de sondagem para o projeto de bioengenharia inclui três coletas, uma sondagem a trado (ST) amostra deformada em terreno natural, antes da implantação do projeto e duas coletas amostras indeformadas, após a implantação do projeto.

As coletas de amostras deformadas de solo foram realizadas na área do talude, no total foram 6 sondagens a trado, com trado tipo cunha, escalonadas a cada 20 metros. A sondagem ocorreu em seção transversal em todo perfil do solo até alcançar o nível d'água. As amostras deformadas foram coletadas e separadas por camadas à medida que fosse observada a mudança de textura de cada camada do solo, todo o material foi acondicionado de forma a não perder umidade.

As amostras foram submetidas a ensaios em laboratório para determinação granulométrica, teor de umidade e limites de Atterberg (LL e LP). A preparação das amostras para os ensaios de granulometria seguiu a norma NBR 6458 [2] da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Os ensaios de granulometria foram realizados segundo a norma NBR 7181 [1] e posteriormente foi realizada a classificação das amostras no SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) e em classes texturais segundo [21].

### 2.3 Produção de mudas e estacas

As mudas do capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*) foram produzidas no viveiro florestal da Universidade Federal de Sergipe. As mudas produzidas foram retiradas de perfilhos de touceiras matrizes. O substrato utilizado nos recipientes foi composto de terra preta, pó de côco, calcário dolomítico, na proporção de 30:60:0,06 kg e 73 g de fertilizante NPK (3-12-6) por m<sup>3</sup> de substrato. As mudas se desenvolveram em recipientes de sacos plásticos de polietileno e em tubetes, sendo a irrigação realizada duas vezes ao dia.

As estacas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) e aroeira (*Schinus terebenthifolius* Raddi) foram produzidas a partir de plantas matrizes. As estacas retiradas tinham dimensão média de 1 m (comprimento), esse material foi acondicionado em recipientes plásticos com água para não perder umidade até o plantio em campo.

### 2.4 Definição da técnica adotada no Baixo São Francisco

As técnicas de bioengenharia de solo utilizadas no sítio experimental para o controle do processo erosivo no talude marginal foram selecionadas a partir da análise das características do talude marginal e da morfologia do canal em cada trecho. As diferentes combinações das técnicas de bioengenharia tiveram como objetivo avaliar o desempenho de cada técnica.

O sítio experimental foi dividido em três experimentos a partir da geomorfologia do canal, no sentido montante a jusante do rio. O experimento 1 com comprimento de 100 m, o experimento 2 com comprimento de 40 m e o experimento 3 com comprimento 60 m.

No primeiro experimento, na base do talude foi utilizada a técnica do enrocamento vegetado, camadas de rochas protegendo a base do talude e entre os espaços das rochas ocorreu a fixação de estacas vivas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth). No talude foi realizado o plantio da gramínea vetiver (*Vetiveria Zizanioides* L Nash) para proteção e estabilização do solo. No topo do talude foram colocados em pequenas valas os retentores de sedimento Bermalonga® D- 10, compostos por fibras vegetais desidratadas e prensados, envolvidos por malha de polipropileno fotodegradável.

Na base do talude foi utilizada a técnica de parede enrocada e no talude fixada à biomanta com plantio de estacas vivas. A biomanta fotodegradável é composta de 100% de fibra de coco, Tela Fibrax 400BF ® entrelaçada por uma malha de polipropileno fotodegradável e também biomanta Sisal bioblanket Type GF/30.S composta de 100% de fibra de sisal. Sob as biomantas foram plantadas estacas vivas de aroeira (*Schinus terebenthifolius* Raddi) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth).

No terceiro experimento foi realizada a técnica de cordões vegetados de capim vetiver na base do talude e no talude será utilizada a técnica de camada de arbustos de aroeira (*Schinus terebenthifolius* Raddi) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) e serão colocados em pequenas valas os retentores de sedimento Bermalonga® D- 10.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características granulométricas observadas no talude fluvial apresentaram pequenas descontinuidades preenchidas com textura argilo-siltosas nas camadas superiores e as camadas inferiores uma textura mais grosseira classificada como franco-arenosa na amostra ST 01, amostra ST 02, amostra ST 03, amostra ST 04, amostra ST 05 e areia na amostra ST 06. Esta disposição das camadas com granulometria distinta é explicada pelo processo de formação dos Neossolos Flúvicos que consiste na deposição de sedimentos aluviais de origem variada ao longo do tempo sem uma relação pedogenética definida.

A predominância da fração areia nas camadas mais profunda do talude, próxima ao nível d'água, apresentaram baixos teores das frações silte e argila, com exceção da amostra ST 01, onde se observou 38,32 % de finos. De acordo com [3], solos com textura grosseira apresentam uma maior quantidade de espaços vazios, ou seja, uma maior macroporosidade, devido à baixa atividade dos agentes cimentantes, o que leva à formação de agregados com baixa estabilidade. A formação de agregados com baixa estabilidade, principalmente nas camadas mais inferiores das margens dos rios, possui correlação positiva com a erodibilidade de solos em taludes marginais.

A umidade representa um importante atributo físico para determinação da vulnerabilidade dos taludes à erosão marginal. As amostras analisadas nas porções inferiores são mais sujeitas às variações da cota do rio, as camadas superficiais apresentaram os maiores teores de umidade. Essa porcentagem de umidade representa a umidade higroscópica que está intrinsecamente relacionada aos teores de silte e argila presentes no solo evidenciando o aumento na capacidade de retenção de água quando há predominância de frações com sua maior superfície específica [5].

É possível afirmar que as camadas inferiores das amostras estudadas estão mais susceptíveis à erosão quando comparadas às outras amostras por apresentarem alta drenagem devido à sua composição granulométrica com predominância da fração areia o que reduz a agregação das partículas do solo e não proporcionam coesão suficiente para manter as partículas unidas quando submetidas a forças externas. Além disso, essas amostras estão mais sujeitas ao desprendimento das partículas por estarem mais próximas ao nível d'água, onde sofrem freqüentemente as variações na cota do rio aumentando constantemente o teor de água no solo e por seguinte o efeito lubrificante entre os seus constituintes, fazendo com que as partículas fiquem mais distantes umas das outras, provocando redução na coesão [18].

Em relação aos Índices de Atteberg, todas as amostras do terços inferiores do talude fluvial foram classificadas como não plástica (NP) e não líquida (NL), baixa consistência das amostras demonstrando o caráter arenoso, possuindo coloração variando entre amarelo claro e marrom escuro, textura em grande parte granular, maior concentração de frações médias, aparentando possuir considerável quantidade de mica. Esses valores podem ser explicados pelas altas frações de areia que fazem parte da composição das amostras. As amostras superiores apresentaram Índices de Plasticidade (IP) variáveis entre 15 e 21 %. Materiais que apresentam IP acima de 15 % são classificados como altamente plásticos [16]. Os altos valores de IP estão relacionados com a umidade que as amostras conseguem reter através dos teores de finos que compõem o talude aumentando sua resistência mecânica ao cisalhamento.

O processo de erosão em taludes marginais ocorre geralmente em dois momentos, sendo iniciado pelo solapamento da base, que consiste na retirada do material das camadas mais inferiores através do fluxo e refluxo do rio, e finalizado pelo desmoronamento do talude [12]. [26] observaram que a predominância da fração argila nas camadas inferiores dos taludes contribui para o aumento da resistência ao cisalhamento dos mesmos devido à maior agregação fornecida ao solo na região onde o fluxo d'água próximo ao talude é alto. As propriedades mecânicas de um talude estão ligadas à sua composição granulométrica onde a erodibilidade é inversamente proporcional aos teores de silte e argila, desta forma taludes que apresentam sedimentos com maiores porcentagens de silte e argila resistirão mais ao processo erosivo [10].

### 3.1 Implantação da técnica de Bioengenharia de Solos

A implantação do projeto de bioengenharia de solo foi iniciada com a limpeza e destocamento da área total. Essas operações foram realizadas com auxílio de retroescavadeira hidráulica, porém em projetos menores essa operação pode ser realizada manualmente com auxílio de enxadas, foices e moto-serra (destocamento). A remoção da vegetação rasteira, pequenos arbustos e árvores foi necessária para possibilitar melhor acesso a obra, marcação dos pontos topográficos para retaludamento, implantação de espécies vegetais, de biomantas e instalação do enrocamento.

O retaludamento, operação de corte para modificação da geometria ou reconstituição do talude marginal teve como objetivo diminuir a inclinação do talude e equilibrar as forças que influenciam na estabilidade do talude. Essa operação foi realizada com o auxílio de retroescavadeira hidráulica para promover um gradiente de inclinação do talude em torno de 20° e inclinação de 1V: 2H. No trabalho de [8, 20, 13] o retaludamento foi realizado manualmente, embora o retaludamento mecanizado promova uma suavização do talude mais uniforme, melhor inclinação e menor movimentação no talude, como também menor tempo de execução dessa etapa dos trabalhos iniciais.

Após o retaludamento de toda a área, foram executadas tarefas do planejamento prévio relacionado à divisão da área em três trechos experimentais considerando a geomorfologia do canal, no sentido montante à jusante do rio: 1° experimento com 100 m de comprimento, 2° experimento com 40 m de comprimento e 3° experimento com 60 m de comprimento, com diferentes biotécnicas nos três experimentos.

A partir da análise da série histórica de cotas (40 anos) do baixo curso do Rio São Francisco foi determinado a cota máxima e a cota mínima. Com análise desses valores foi marcada a altura média da cota máxima em 4 m acima do nível da água e 3 m abaixo do nível da água que nortearam as dimensões da faixa de proteção da base do talude.

A implantação das técnicas de bioengenharia de solo começou no primeiro trecho com o enrocamento da base do talude (Figura 1). As camadas de rochas foram colocadas acima e abaixo do nível da água para atingir a cota máxima e a cota mínima do rio. A construção do enrocamento de pedras (diâmetro médio 0,70 m) abaixo do nível da água foi realizada com auxílio de retro escavadeira hidráulica e a parte superior (diâmetro médio 0,30 m) foi realizada manualmente.



Figura 1: Enrocamento da base do talude na área de implantação do projeto, (A, B) Colocação de pedras (diâmetro 0,70 m) abaixo do nível da água e (C, D) operação de enrocamento realizada no experimento 1.

Para a construção do enrocamento tomou-se como base as cotas máximas e mínimas do rio, considerando possível solapamento na base do talude como relatado nos estudos realizados por [13] no baixo São Francisco, no qual a instalação do Colchão Reno ® ocorreu em período de menor cota (a altura do Colchão Reno ® não foi correlacionada com as cotas). No período avaliado com diminuição da cota do rio, o nível mais baixo do Colchão Reno ® se apresentou acima da cota mínima da água no canal do rio, desencadeando o processo de solapamento da base e promovendo agressivo processo erosivo na base do talude.

Na base do talude do Experimento 1 foi utilizada a técnica do enrocamento vegetado (Figura 2), e entre os espaços das pedras ocorreu a fixação de estacas vivas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth), com estacas de comprimento médio de 0,80 m e o espaçamento para o plantio foi de 1 x 1m. O enrocamento na base do talude, na faixa entre as cotas, vai proporcionar uma proteção na base e garantir o desenvolvimento da vegetação e estabilização do talude.



Figura 2: Enrocamento vegetado na base do talude com estacas de sabiá no experimento 1.

No talude foi realizado o plantio em covas de mudas da gramínea vetiver (*Vetiveria Zizanioides* L Nash) (Figura 3) para proteção e estabilização do solo, com espaçamento de 0,3 x 0,9m. No trabalho realizado por [8] a gramínea utilizada para a proteção do solo foi a *Brachiaria decumbens*. Essa espécie apresentou boa resistência ao período seco e promoveu boa cobertura do solo, porém por ser uma planta invasora e alelopática não favoreceu o desenvolvimento de espécies florestais na área, se apresentando dominante com agressivo desenvolvimento na área.



Figura 3: Plantio de mudas de vetiver no talude do experimento 1.

No topo do talude foram colocados em pequenas valas os retentores de sedimento Bermalonga® D- 10, para analisar sua atuação no controle do escoamento superficial.

No experimento 2 foi utilizada a técnica de parede enrocada ou vegetated geogrid (Figura 4). A retro escavadeira hidráulica fez a abertura de uma vala na base do talude antes do nível da água, foi realizada a fixação da biomanta Tela Sintemax 400TF ® dentro da vala. Por dentro da biomanta foram colocadas às estacas de aroeira (*Schinus terebenthifolius* Raddi), com comprimento médio de 1m e sob a parede enrocada foi preenchido com solo e pedras. Para a proteção da base do talude

entre as faixas de cotas, também nesse experimento foi construído o enrocamento de pedras na base do talude, com altura máxima de 4 m acima do nível da água e 3 m abaixo do nível da água.



Figura 4: Construção da parede enrocada na base do talude na área de implantação do projeto no experimento 2.

No talude foram instaladas as biomantas Tela Fibrax 400BF® entrelaçada por uma malha de polipropileno fotodegradável e também biomanta Sisal bioblanket Type GF/30.S, composta de 100% de fibra de sisal. As biomantas foram aplicadas longitudinalmente sobre o talude, fixadas com grampos de aço em forma de —Vl com 0,4 m de comprimento e 0,042 m de diâmetro.

Nos estudos realizados por [8, 13] resultou que a biomanta contribui para a estabilização do talude, mostrou eficiência no controle do processo erosivo, exerce a função de diminuir a corrosão do solo, além de conservar a umidade na camada superficial do solo e apresentar rápida e densa cobertura nas áreas com biomanta.

A fixação dos elementos da bioengenharia de solo deve ser criteriosa. Observou uma rápida deterioração dos materiais utilizados na bioengenharia, biomanta e grampos [20]. Esse fato foi correlacionado às condições adversas da área, corrente fluvial, força do vento e movimento de massa do solo, provocando tensões maiores que a suportada pelos materiais, concluindo que a forma de fixação influencia no seu desempenho.

No talude sob as biomantas foram plantadas as estacas vivas de aroeira (*Schinus terebenthifolius* Raddi) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth), para auxiliar na maior fixação da biomanta, resistência ao cisalhamento e promover o crescimento das espécies vegetais para o controle do processo erosivo.

Nos estudo realizado por [14] analisando o crescimento de espécies florestais Foi demonstrado que a aroeira apresentou bom desenvolvimento quando introduzida com as técnicas de bioengenharia, obtendo melhor crescimento quando exposto a pleno sol. O estudo realizado por [6] sugere manter espaço livre e sem sombreamento para o melhor desenvolvimento dessa espécie para a restauração ambiental das margens do Baixo São Francisco.

#### 4. CONCLUSÕES

O planejamento e elaboração do projeto de bioengenharia de solo requerem um estudo amplo, sendo necessário realizar levantamentos físicos e mecânicos do solo, série histórica de precipitações e variações de cotas do curso d'água.

Os projetos de avaliação e monitoramento para implantação de projetos de bioengenharia de solos em margens de curso d'água são escassos.

O monitoramento do projeto após a sua implantação é de fundamental importância para avaliar o desenvolvimento da vegetação e controle do processo erosivo.

A implantação da técnica de bioengenharia na margem sergipana do baixo curso do Rio São Francisco se apresenta como uma solução ecologicamente correta e economicamente viável, em comparação a técnicas de engenharia tradicional, para o controle do processo erosivo.

A combinação das técnicas de bioengenharia com a engenharia tradicional utilizadas na margem do São Francisco possibilitou maior proteção à base do talude e desenvolvimento da vegetação.

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7181: Análise granulométrica de solo. Rio de Janeiro, 1984. 13p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13133: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1996. 35p.
3. BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. 7. ed. São Paulo: F. Bastos, 1989. 898 p.
4. CAMPBELL, S. D. G.; SHAW, R.; WONG, J. C. F.. Guidelines for soil bioengineering applications on natural terrain landslide scars. Geo Report N° 227. Geotechnical Engineering Office Civil Engineering and Development Department the Government of the Hong Kong Special Administrative Region. 2008.
5. CARDUCCI, C.E.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; ZEVIANI, W.M. Modelagem da curva de retenção de água de LATOSSOLOS utilizando a equação duplo Van Genuchten. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.1, p.77-86, 2011.
6. CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento do São Francisco e Vale do Paraíba. Projeto básico de proteção da margem direita do rio São Francisco no perímetro de irrigação Cotinguiba/Pindoba, 4ª SR – Sergipe. Brasília, DF: CODEVASF, 2003.
7. DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos de água. Porto Alegre/RS: EST Edições, 2005. 189p.
8. GOMES, L. G. N. A bioengenharia como ferramenta para restauração ambiental das margens do rio São Francisco. São Cristóvão/SE: Núcleo de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, 2005.
9. GRAY, D. H.; SOTIR, R. B. Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control. New York: John Wiley e Sons. 1996. 377p.
10. JULIAN, J.P.; TORRES, R. Hydraulic erosion of cohesive riverbanks. *Geomorphology*, v.76, n.1-2, p.193-206, 2006.
11. HOLANDA, F. S. R. Estudo integrado do vale do São Francisco sergipano: região de tabuleiros costeiros e pediplano sertanejo-pedologia. Aracaju: CODEVASF, 2000.
12. HOLANDA, F.S.R.; SANTOS, C.M.; CASADO, A.P.B.; BANDEIRA, A.A.; OLIVEIRA, V.S.; FONTES, L.C.S.; ROCHA, I.R.; ARAÚJO-FILHO, R.N.; GÓIS, S.S.; VIEIRA, T.R.S. Análise multitemporal e caracterização dos processos erosivos no Baixo São Francisco sergipano. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.8, n.2, p.87- 96, 2007.
13. HOLANDA, F. S. R.; ROCHA, I. P.; OLIVEIRA, V. S. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. *Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, v. 12, n. 6, p. 570-575, 2008.
14. HOLANDA, F. S. R.; GOMES, L. G. N.; ROCHA, I. P.; SANTOS, T. T.; ARAÚJO FILHO, R. N.; VIEIRA, T. R. S.; MESQUITA, J. B. Crescimento inicial de espécies florestais na recomposição da mata ciliar em taludes submetidos à técnica da bioengenharia de solos. v. 20, n.1, Santa Maria: *Ciência Florestal*, Jan-Mar, 2010, p. 157-166
15. LEWIS, L. Soil bioengineering—an alternative to roadside management—a practical guide. Technical Report 0077-1801-SDTDC. San Dimas, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, San Dimas Technology and Development Center, 2000. 44p
16. MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Caracterização de argilas plásticas do tipo "ball clay" do litoral paraibano. *Cerâmica*, v. 49, n. 311, p. 120-127, 2003
17. MONTEIRO, J. S. Influência do ângulo de plantio na propagação vegetativa de espécies utilizadas em engenharia natural. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Santa Maria/RS, 2009. 109 p.
18. PARKER, C.; SIMON, A.; THORNE, C.R. The effects of variability in bank material on riverbank stability: Goodwin Creek, Mississippi. *Geomorphology*, v.101, n.4, p.533-543, 2008.
19. ROCHA, P.C.; SOUZA FILHO, E.E. Erosão Marginal e evolução hidrodinâmica no sistema rio-planície fluvial do Alto Paraná-Centro Sul do Brasil. In: NUNES, J.O.R.; ROCHA, P.O. *Geomorfologia: aplicação e metodologias*. 1ª ed. Expressão Popular, São Paulo, 2008, p.133-154.
20. SANTANA, S. A. Relações entre estabilidade de taludes e os processos erosivos no Baixo São Francisco. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas). Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2008, 114 p.
21. SANTOS, R. D.; LEMOS, R. D.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. Manual de Descrição e Coleta de solo no Campo. 5ª ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005
22. SILVA, L. C. Manejo de rios degradados: uma revisão conceitual. n° 03. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 2010. p.23-32.
23. SUTILI, F. J.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Potencial biotécnico do sarandi-branco (*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.) e vime (*Salix viminalis* L.) para revegetação de margens de curso de água. v. 14, n. 1. Santa Maria: *Ciência Florestal*, jun. 2004. p. 13-20.
24. SUTILI, F. J. Bioengenharia de solos no âmbito fluvial do sul do Brasil: espécies aptas e suas propriedades vegetativo- mecânica e emprego na prática. Tese (Doutorado Engenharia Florestal). Viena/Áustria: Universidade Rural de Viena, Departamento de Engenharia Civil e Perigos Naturais, Instituto de Bioengenharia de Solos e Planejamento da Paisagem, 2007. 94 p.



25. USDA–NRCS. Technical Supplement 14I Streambank Soil Bioengineering. In 210–VI–NEH, 2007. 84p.
26. XIA, J.Q.; WU, B.S.; WANG, Y.P.; ZHAO, S.G. An analysis of soil composition and mechanical properties of riverbanks in a braided reach of the Lower Yellow River. *Chinese Science Bulletin*, v.53, n.15, 2008, p.2400-2409.