



## **XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS**

### **BIOENGENHARIA DE SOLOS COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL AOS MÉTODOS CONVENCIONAIS DE ESTABILIZAÇÃO DE MARGENS DE CURSOS D'ÁGUA**

*Letícia Lenz<sup>1</sup>; Igor da Silva Rocha Paz<sup>1</sup>; Marcelo de Miranda Reis<sup>1</sup>; Jesus Emmanuel Medeiros Vieira<sup>1</sup> & José Carlos Cesar Amorim<sup>1</sup>*

**RESUMO** – A constante degradação dos ecossistemas lóticos tem se tornado motivo de preocupação universal. Tal conjuntura contribui para dar origem a uma das 169 metas da Agenda de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas para 2030: até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água. Parte dos objetivos da Agenda 2030, da qual o Brasil é signatário, busca proteger o planeta da degradação, sobretudo por meio da gestão sustentável dos seus recursos naturais. Com vista ao alcance dessas metas, uma revisão da literatura sobre as abordagens de bioengenharia para estabilização de margens fluviais foi realizada. Alternativas sustentáveis às práticas convencionais, que enfatizem o uso de elementos vegetativos, possivelmente em combinação com elementos de revestimento, foram organizadas e detalhadas no decorrer do trabalho. A gestão ecológica dos cursos d'água é fundamental para alcançar benefícios ambientais e sociais e garantir ganhos mútuos a longo prazo.

**ABSTRACT** – The constant degradation of lotic ecosystems has become a matter of universal concern. Such a situation contributes to the creation of one of the 169 goals of the United Nations Sustainable Development Agenda for 2030: by 2020, to protect and restore water-related ecosystems. Part of the objectives of Agenda 2030, of which Brazil is a signatory, seeks to protect the planet from degradation, especially through the sustainable management of its natural resources. In order to achieve these goals, a review of the literature on bioengineering approaches to streambank stabilization was undertaken. Sustainable alternatives to conventional practices, which emphasize the use of vegetative elements, possibly in combination with revetment elements, were organized and detailed in the course of the work. Ecological management of streams is essential to achieve environmental and social benefits and to ensure long-term mutual gains.

**Palavras-Chave** – Bioengenharia de solos, estabilização de margens fluviais, erosão de margens

### **1 INTRODUÇÃO**

Na ótica da engenharia, as margens dos rios podem ser consideradas estáveis se não houver mudanças perceptíveis na sua localização, ao longo de um período de 20 a 50 anos. As margens fluviais exercem função delimitadora do canal, cuja instabilidade contribui para a migração lateral

1) Instituto Militar de Engenharia, Praça General Tibúrcio 80, Praia Vermelha, Urca, Rio de Janeiro/RJ 22290-270, Brasil; (21) 2546-7028; leticialenz95@gmail.com, igorpaz@ime.eb.br, marceloreis@ime.eb.br, yesuscad@gmail.com, jcamorim@ime.eb.br

dos cursos d'água. A erosão marginal é um preocupante fator de instabilidade e advém do processo de adaptação do rio ao vale em que se situa ou às condições de escoamento (LYN & NEWTON, 2015).

Este processo evolutivo do rio pode ser inteiramente natural ou pode ser induzido por intervenções antropogênicas. As atividades humanas de uso e desenvolvimento de terras ou práticas agrícolas ao longo das margens perturbam os ecossistemas lóticos e podem exacerbar os efeitos da erosão (FISRWG, 1998). A erosão das margens traz consequências adversas, degradando a qualidade da água, interferindo na infraestrutura do transporte hidroviário e gerando graves perdas econômicas de terras. Desta forma, a erosão das margens dos rios não é simplesmente um distúrbio local, que prejudica apenas alguns proprietários de terra, mas que ocasiona impactos econômicos e ambientais que afetam toda a região (BIEDENHARN et al., 1997).

Para conter a erosão e evitar ou mitigar suas consequências, técnicas com aplicações convencionais de revestimento (Figura 1a) são comumente utilizadas na estabilização de margens, tais como riprap, gabião, placas de concreto, entre outras, atuando como uma estrutura de proteção não erodível (LYN & NEWTON, 2015). Outra técnica tradicionalmente utilizada é a retificação, na qual o curso d'água é retificado para reduzir os seus meandros e minimizar o processo natural de erosão (Figura 1b). Redefinindo o leito principal do rio e limitando a sua planície de inundação, a retificação é uma prática agressiva que destrói o equilíbrio físico básico dos cursos d'água e causa numerosos impactos físicos e ecológicos (LI E EDDLEMAN, 2002).

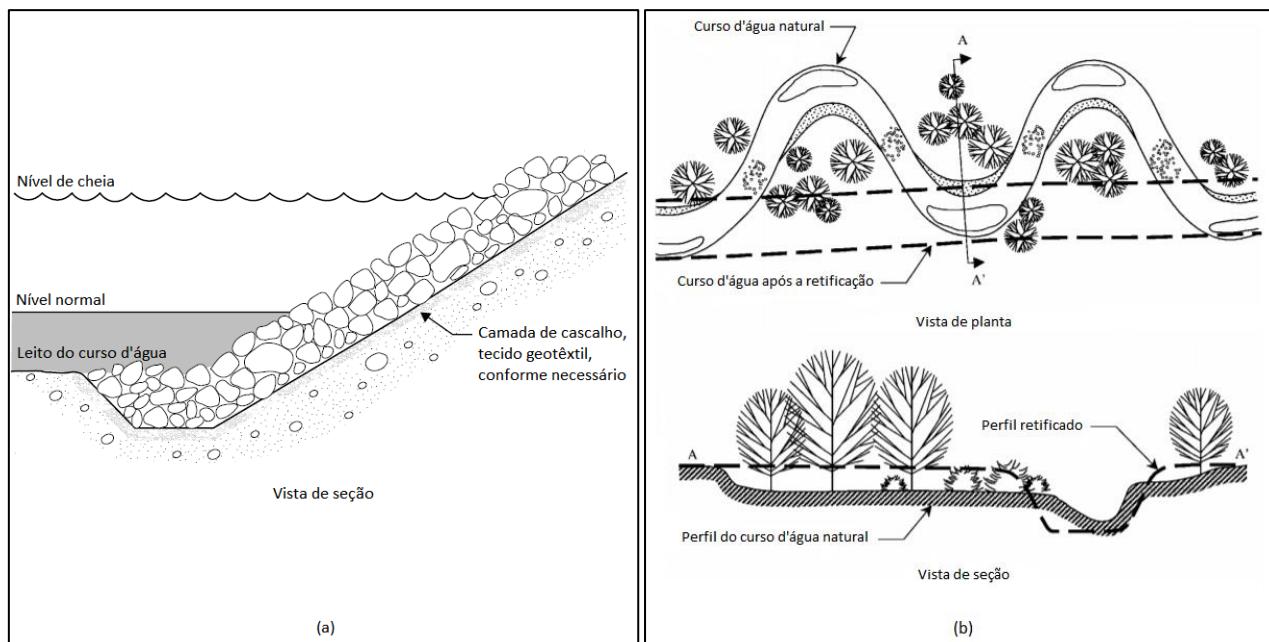


Figura 1 – (a) Riprap e (b) retificação de cursos d'água. Fontes: (a) Adaptado de USDA (1996) e (b) adaptado de Li e Eddleman (2002).

Estes métodos tradicionais frequentemente transferem problemas de erosão para outras áreas do rio e afetam a integridade ecológica dos cursos d'água, prejudicando a variabilidade da biodiversidade. Pouca atenção é dada aos efeitos secundários ou aos impactos que estas práticas terão nas áreas a montante e/ou a jusante dos rios (LI E EDDLEMAN, 2002). Considerando, portanto, os efeitos nocivos do enrocamento e da engenharia pesada utilizada na retificação de cursos d'água naturais, alternativas mais brandas e ambientalmente sensíveis às abordagens convencionais de proteção de margem foram buscadas em resposta às preocupações com seus impactos ambientais, denominadas de técnicas de bioengenharia (LYN & NEWTON, 2015).

Neste contexto, o presente artigo concentra-se na revisão da literatura sobre abordagens de bioengenharia, que enfatizam o uso de elementos vegetativos, possivelmente em combinação com elementos de revestimento, como alternativa sustentável para alcançar a estabilização de margens fluviais. Este estudo pode ser utilizado como guia aos pesquisadores que queiram explorar a literatura de forma mais rápida e detalhada, além de facilitar estudos futuros ao evitar a extração de dados não relacionados com o tema.

## 2 PREMISSAS DAS TÉCNICAS

Os métodos de bioengenharia de proteção de margens atingem metas de estabilização que não são consideradas na prática da engenharia tradicional, oferecendo um processo de recuperação natural e mantendo ou até aumentando o valor estético de um curso d'água (LI E EDDLEMAN, 2002). O desempenho da vegetação é o papel central das técnicas de bioengenharia, que atuam diretamente nas margens. Estas técnicas variam desde aquelas em que o principal elemento de proteção não é vegetativo, mas que permite que a vegetação se estabeleça, até soluções totalmente vegetativas, dependendo apenas das características da vegetação (LYN & NEWTON, 2015).

Segundo USDA (2007), o sucesso das técnicas de bioengenharia depende do estabelecimento inicial e do desenvolvimento a longo prazo das espécies de vegetação ripária. Com relação à vegetação, o êxito depende de vários fatores, incluindo:

- espécies selecionadas;
- métodos de aquisição;
- técnicas de instalação e manuseio;
- época do ano;
- compactação do solo;
- tipo de solo;
- nutrientes;
- salinidade;
- sedimento;
- carga de detritos;
- inundação;
- acessibilidade à água;
- seca;
- hidrologia;
- clima;
- localização relativa no curso d'água.

As técnicas de bioengenharia propostas devem ser avaliadas e projetadas considerando-se a localização da vegetação em relação ao rio e ao lençol freático. Observar a localização e os tipos de vegetação existentes e adjacentes à área do projeto é também um fator importante para obter êxito na estabilização das margens (USDA, 2007). Logo, uma abordagem zonal é amplamente aceita, mas a forma como as diferentes zonas ao longo do banco devem ser definidas ainda é discutível (LYN & NEWTON, 2015). De acordo com USDA (2007), é válido definir, em termos de zonas de plantação, a elevação e as relações laterais com o escoamento na área ribeirinha. A Figura 2 ilustra uma descrição idealizada das zonas de plantação ribeirinhas, porém algumas dessas zonas identificadas podem estar ausentes em alguns sistemas fluviais. Em suma, estas zonas podem ser usadas para determinar onde as espécies ribeirinhas devem ser plantadas em relação à linha d'água durante diferentes períodos de vazão.

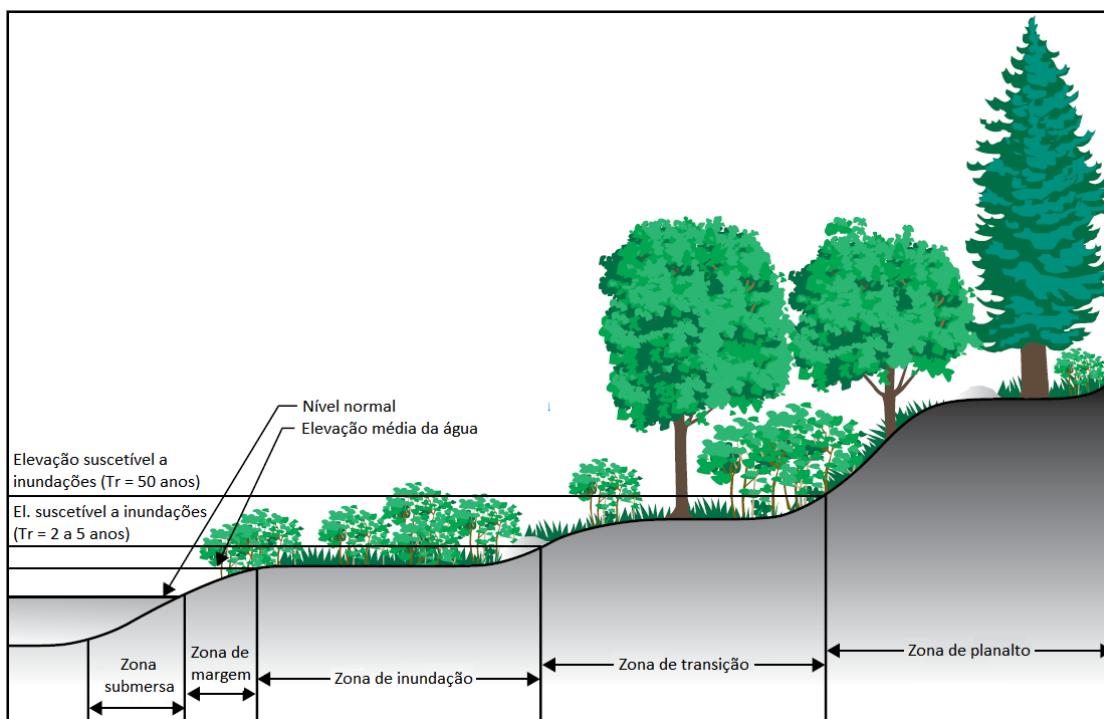


Figura 2 – Definição de zonas ribeirinhas e suas respectivas espécies de vegetação. Fonte: Adaptado de USDA (2007)

Na zona submersa, locais onde a vegetação muitas vezes não é sustentável, a bioengenharia para estabilização de margem dificilmente terá sucesso sem meios estruturais para reduzir a erosão fluvial. Assim, uma abordagem de bioengenharia em combinação com métodos estruturais é recomendada (LYN & NEWTON, 2015).

### 3 TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA

Na sequência serão detalhadas e ilustradas seis técnicas de bioengenharia, encontradas na literatura (GRAY E SOTIR, 1996; USDA, 1996; FISRWG, 1998).

### 3.1 Estacas vivas

Esta técnica envolve a inserção e compactação de estacas vegetativas no solo, que irão se enraizar e crescer (Figura 3). O sistema de estacas cria uma camada de raiz que estabiliza o solo, reforçando e ligando as suas partículas e extraíndo o excesso de umidade. É uma técnica eficaz de proteção de margens para locais com condições menos complicadas, adequadas para o reparo de pequenos deslizamentos de terra que frequentemente estão molhadas. Também é uma boa opção quando o tempo de construção é limitado e necessita-se de um método mais econômico. Pode ser usada para fixar e melhorar o desempenho de tecidos de controle de erosão, estabilizar áreas intervenientes entre outras técnicas de bioengenharia do solo, melhorar as condições para a colonização natural da vegetação local e produzir habitat ribeirinho (FISRWG, 1998).

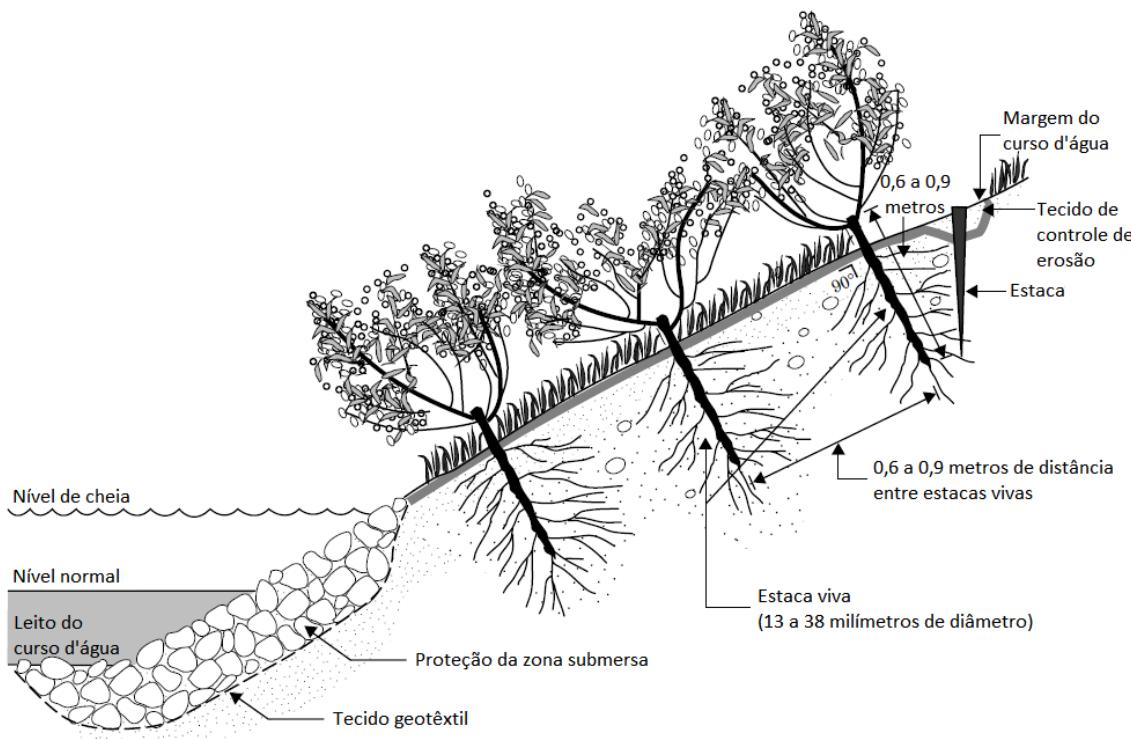


Figura 3 – Detalhes das estacas vivas. Fonte: Adaptado de USDA (1996)

### 3.2 Feixes vivos

São longos feixes de recortes de ramos unidos em estruturas cilíndricas (Figura 4), com diâmetro de 0,15 a 0,2 metros, colocados em trincheiras nas margens dos rios para reduzir a erosão e o deslizamento superficial. Os recortes de ramos, que formam os feixes, são amarrados com todas as pontas de crescimento orientadas na mesma direção e variam de comprimento, entre 1,6 a 3,2 metros ou mais, dependendo das condições do local e das limitações de manuseio. São utilizadas estacas de 0,75 metros de comprimento para prender os feixes vivos. Um tecido de controle de erosão é colocado e estacas vivas são instaladas no lado descendente dos feixes vivos (USDA, 1996).

Esta técnica é normalmente aplicada acima do nível de cheia do curso d'água, em trincheiras de contorno, criando pequenas estruturas semelhantes a barragens, reduzindo assim o comprimento do declive em uma série de declives mais curtos para aprisionar e manter o solo na margem. Em locais muito pequenos de área de drenagem, onde o declive é molhado, os feixes vivos são instalados em trincheiras com um ângulo de inclinação para facilitar a drenagem. Quando instalado corretamente, esse sistema não causa perturbação no local e melhora as condições de colonização da vegetação nativa, criando um microclima propício ao crescimento da vegetação (FISRWG, 1998).

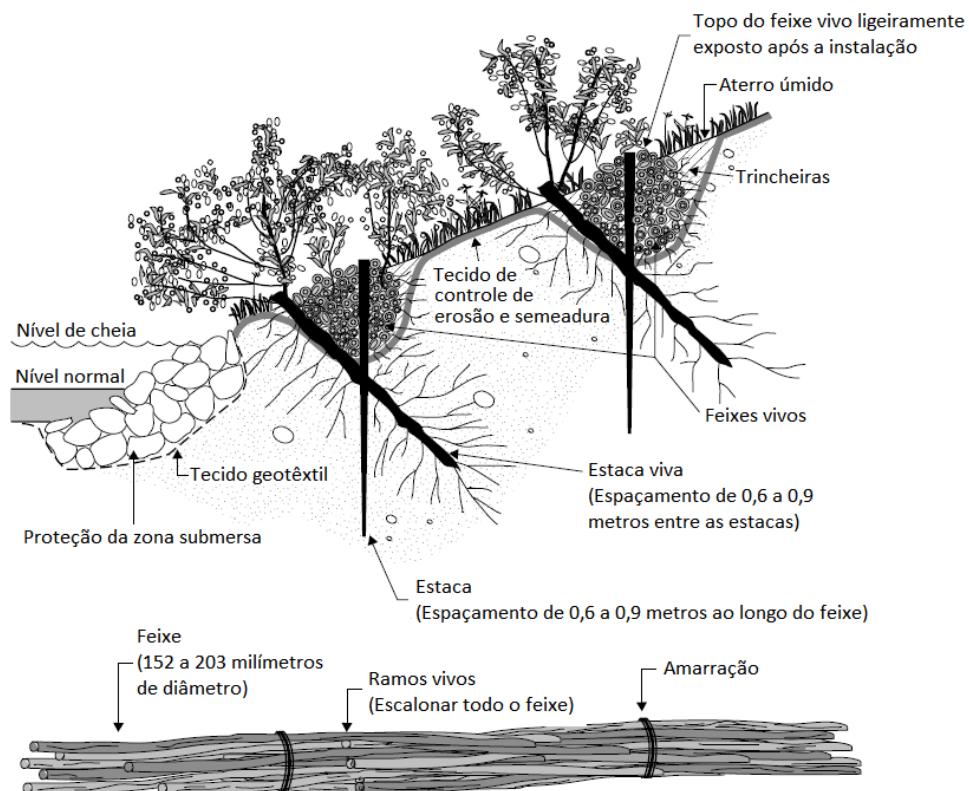


Figura 4 – Detalhes dos feixes vivos. Fonte: Adaptado de USDA (1996)

### 3.3 Empacotamento de ramos

Esta técnica consiste em camadas alternadas de ramos vivos e de solo compactado, para garantir o contato do solo com os ramos. Uma camada inicial de ramos vivos é colocada na parte inferior do orifício, entre as estacas verticais, e perpendicular à face da inclinação (Figura 5). Eles devem ser colocados em uma configuração cruzada com as pontas de crescimento geralmente orientadas para a face da inclinação. Algumas das extremidades basais dos galhos devem tocar o solo não perturbado na parte de trás da cavidade (GRAY E SOTIR, 1996).

O método produz uma barreira de filtro onde os sedimentos presos enchem as depressões localizadas, enquanto as raízes se espalham pelo aterro e pela terra circundante para formar uma massa unificada, prevenindo a erosão das margens. É eficaz e econômico, indicado para reparar pequenos deslizamentos e cavidades localizadas nas margens (USDA, 1996).

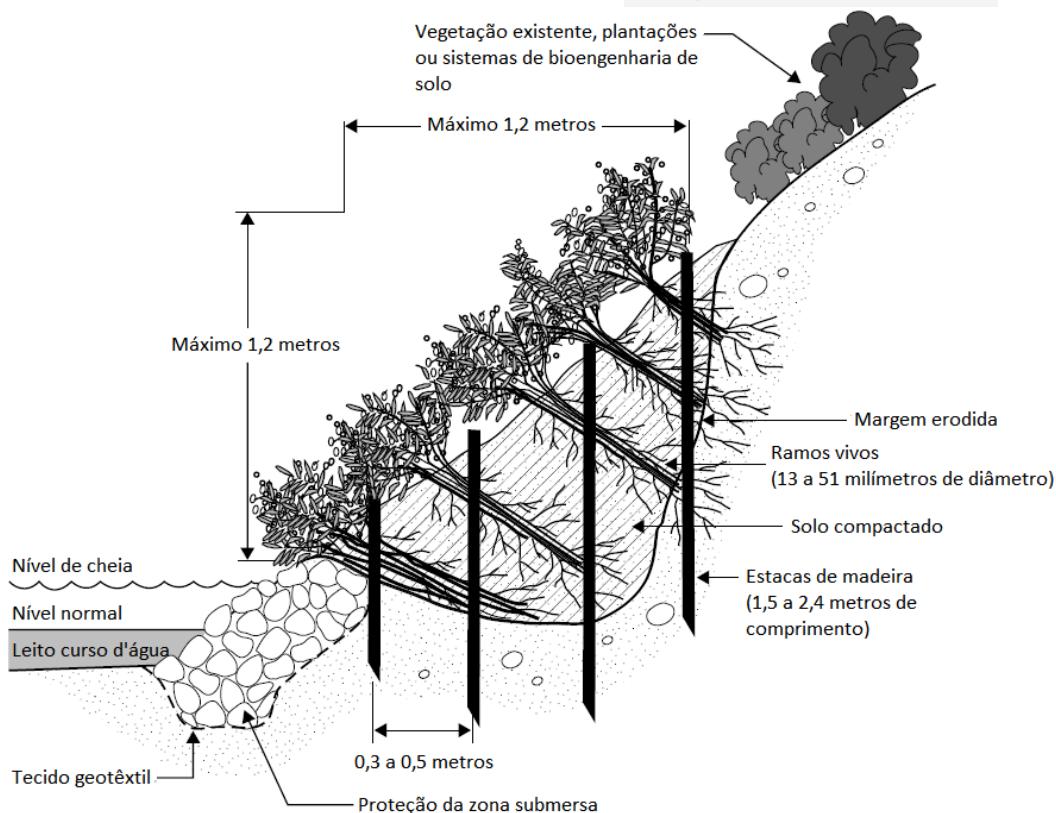


Figura 5 – Detalhes do empacotamento de ramos. Fonte: Adaptado de USDA (1996)

### 3.4 Geogrelha vegetada

A técnica de geogrelhas vegetadas é semelhante ao empacotamento de ramos, exceto pelos materiais geotêxteis naturais ou sintéticos que são envolvidos em torno de cada elevação de solo entre as camadas de ramos vivos, conforme Figura 6 (GRAY E SOTIR, 1996).

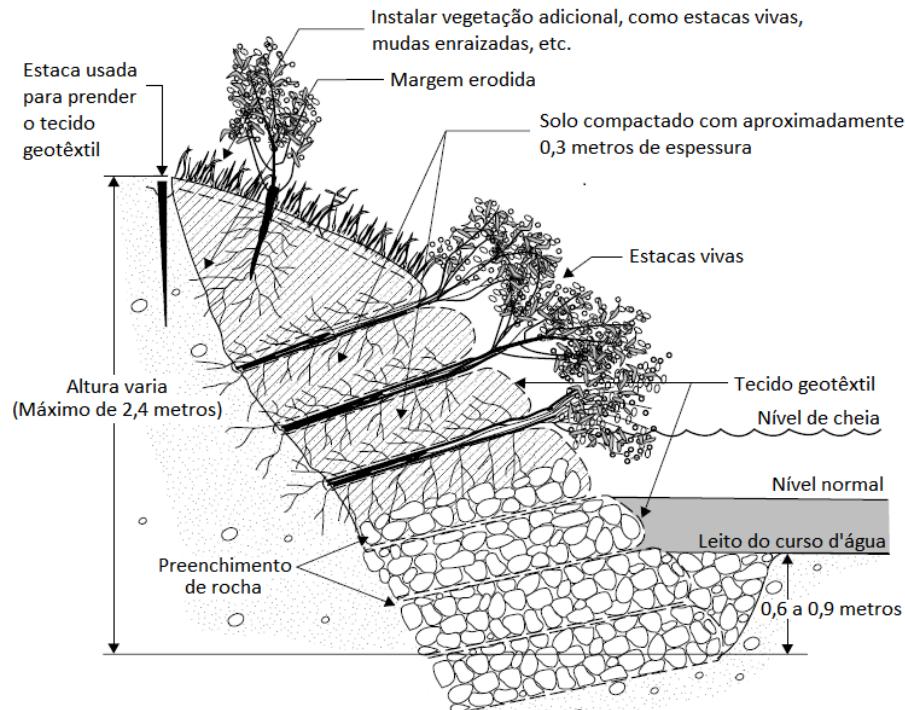


Figura 6 – Detalhes da geogrelha vegetada. Fonte: Adaptado de USDA (1996)

### 3.5 Muro de suporte vivo

Um muro de suporte vivo consiste em um arranjo de encaixe, em forma de caixa, de troncos de madeira. Tal estrutura é preenchida com material adequado para aterro e com camadas de ramos vivos, que penetram no interior da estrutura e se estendem até a encosta (Figura 7). Uma vez que as estacas vivas enraízam e se estabelecem, a vegetação subsequente assume gradualmente as funções estruturais dos troncos de madeira (FISRWG, 1998).

Esta técnica é efetiva em curvas externas dos cursos d'água, onde correntes fortes estão presentes. Apropriada para a base da margem, onde uma parede baixa pode ser necessária para estabilizar a ponta do declive e reduzir sua inclinação. É útil quando o espaço é limitado e é necessária uma estrutura mais vertical, podendo ser instalada acima e abaixo do nível da água. Este método mantém a aparência da margem natural e fornece excelente habitat (USDA, 1996).

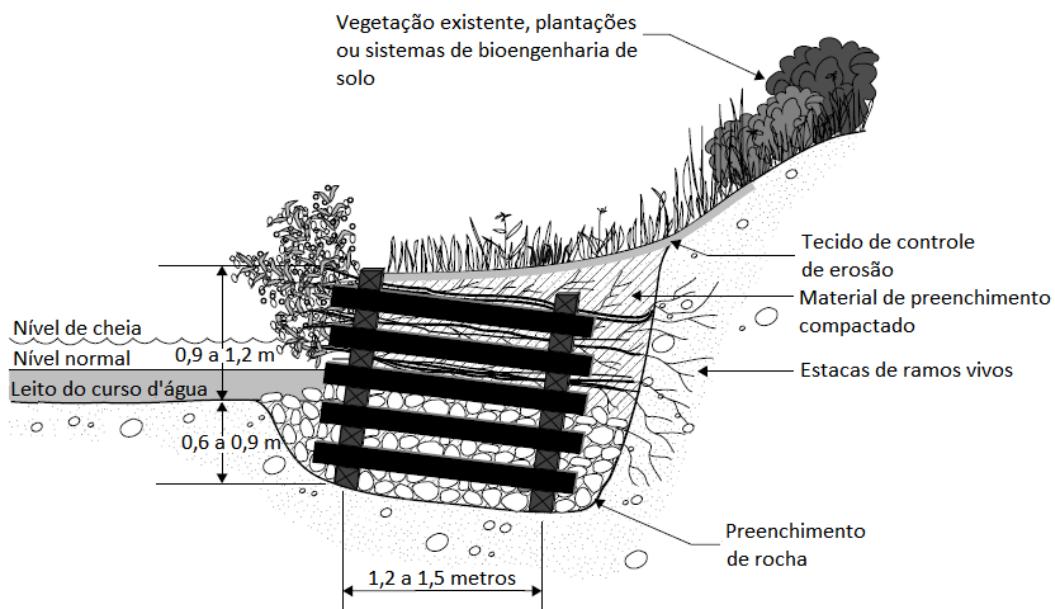


Figura 7 – Detalhes do muro de suporte vivo. Fonte: Adaptado de USDA (1996)

### 3.6 Esteira de ramagem

A esteira de ramagem é uma combinação de estacas vivas, feixes vivos e recortes de ramos instalados para cobrir e estabilizar margens (Figura 8). A aplicação normalmente começa acima do nível de cheia e sobe a inclinação. Esta técnica forma uma cobertura protetora imediata sobre a margem, capturando sedimentos durante as condições de inundação. Repõe rapidamente a vegetação e o habitat ribeirinho, melhorando as condições de colonização da vegetação nativa (FISRWG, 1998).

São necessários ramos de 1,8 a 2,7 metros de comprimento e aproximadamente 2,5 centímetros de diâmetro. Eles devem ser flexíveis para permitir instalações que estejam em conformidade com variações na face da inclinação. A aplicação de estacas vivas e feixes vivos foram descritas anteriormente (USDA, 1996).

Neste método, uma trincheira é escavada no contorno da base da margem, próximo ao nível de cheia, grande o suficiente para acomodar um feixe vivo e as extremidades basais dos ramos. Estacas e estacas vivas são instaladas e as ramificações são colocadas em uma camada de 1 a 2 ramos verticalmente na inclinação preparada com as extremidades basais localizadas na vala previamente escavada. Um arame é esticado diagonalmente de uma estaca para outra, para firmar esteira de ramagem (USDA, 1996).

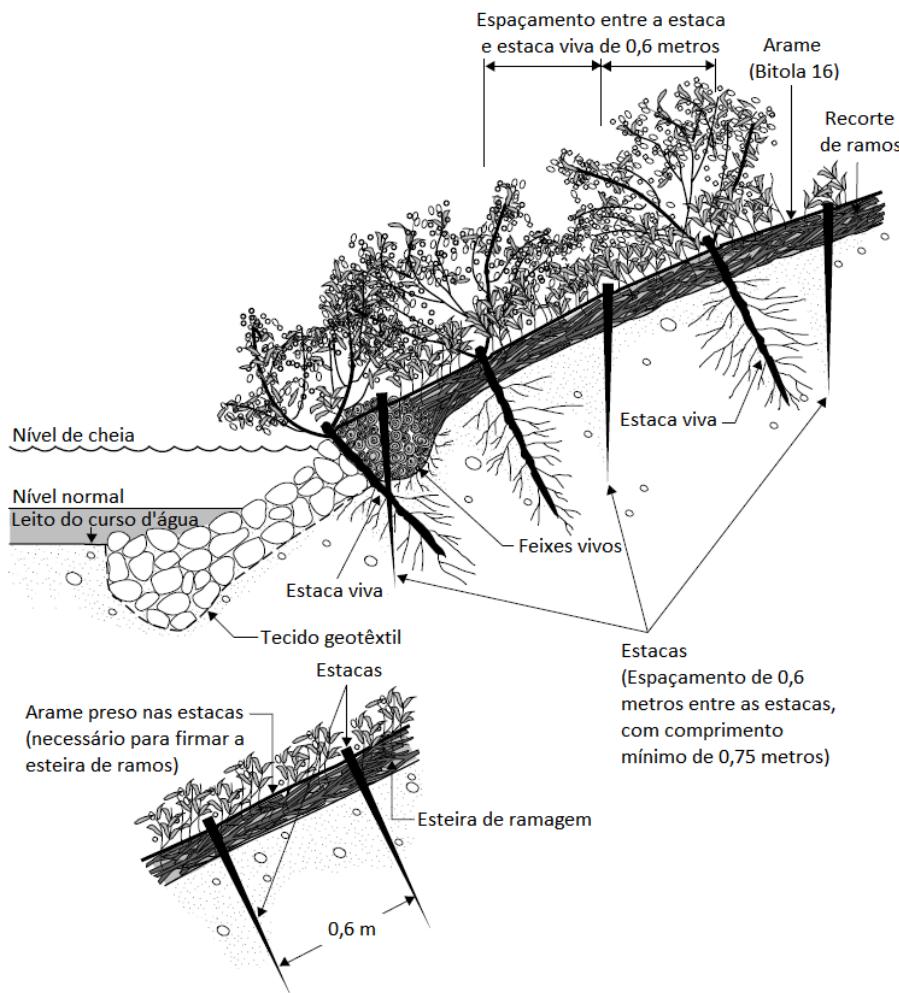


Figura 8 – Detalhes da esteira de ramagem. Fonte: Adaptado de USDA (1996)

## 4 CONCLUSÃO

Uma revisão da literatura relacionada às abordagens de bioengenharia para a estabilização de margem fluvial foi realizada, com particular interesse em trabalhos relevantes, que apresentassem maior grau de detalhamento. No contexto dos métodos de bioengenharia para proteção de margens, o sucesso normalmente é alcançado através da combinação com métodos estruturais. Mesmo nas técnicas onde os elementos vegetativos predominam, são utilizados elementos de revestimento para evitar a erosão na zona mais crítica da margem, a zona submersa.

As técnicas de bioengenharia apresentadas, além de cumprir com a função de estabilizar e proteger as margens, ainda auxiliam na reposição da vegetação ripária e na produção do habitat

ribeirinho. Estas alternativas sustentáveis trabalham com um rio degradado para devolvê-lo à sua condição prévia não perturbada, focando principalmente no restabelecimento e aumento da qualidade do curso d'água propriamente dito e na área ribeirinha adjacente, isto é, a zona de mata ciliar que liga as zonas terrestres e os ambientes aquáticos.

O interesse do Instituto Militar de Engenharia pelas técnicas sustentáveis de estabilização de margens cresceu na medida em que o Exército Brasileiro foi chamado a prestar serviços na revitalização do rio São Francisco, particularmente na recuperação de margens em um longo trecho na região do Médio São Francisco, e optou pela utilização de técnicas de bioengenharia. A obra emprega uma combinação de medidas sustentáveis, envolvendo a suavização da inclinação da margem, a aplicação de biomanta de fibra de coco, para cobertura e proteção do solo, e o revestimento vegetativo, por meio de semeadura e de plantio de mudas de espécies nativas. Tal intervenção busca recuperar áreas degradadas, estabilizar as margens e conter os processos erosivos, mitigando os impactos ambientais e favorecendo a navegação no rio São Francisco.

## REFERÊNCIAS

BIEDENHARN, D.S., ELLIOTT, C.M., WATSON, C.C. (1997). “*The WES stream investigation and streambank stabilization handbook*”. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. 436 p. Retrieved from <http://acwc.sdp.sirsi.net/client/search/asset/1004495>

FISRWG Federal Interagency Stream Restoration Working Group. (1998). “*Stream corridor restoration: Principles, processes, practices*”. National engineering handbook, Part 653. USDA - National Resources Conservation Service. 637 p. Retrieved from <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/?cid5stelprdb1043448>

GRAY, D.H., SOTIR, R.B., (1996). “*Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control*”. Wiley, New York.

LI, M.H., & EDDLEMAN, K.E. (2002). “*Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods: A biotechnical streambank stabilization design approach*”. Landscape and Urban Planning. 60(4), pp.225-242. 10.1016/S0169-2046(02)00057-9.

LYN, D.A., & NEWTON, J.F. (2015). “*Approaches to the design of biotechnical streambank stabilization: Volume I - A guide to the literature*”. Joint Transportation Research Program Publication No. FHWA/IN/JTRP-2015/14. West Lafayette, IN: Purdue University, 41 p. <http://dx.doi.org/10.5703/1288284315998>

USDA National Resources Conservation Service. (1996). “*Streambank and shoreline protection*”. Chapter 16 in Engineering field handbook, Part 650. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture. 143 p. Retrieved from <http://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content517553.wba>

USDA National Resources Conservation Service. (2007). “*Streambank soil bioengineering*”. Technical supplements in National engineering handbook, Part 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture. 84 p. Retrieved from <http://directives.sc.egov.usda.gov/viewerFS.aspx?hid521433>