

## ANÁLISE DE ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS DE ESTABILIZAÇÃO DE MARGENS DE CURSOS D'ÁGUA BRASILEIROS

**Letícia Lenz**

**Igor da Silva Rocha Paz**

**José Carlos Cesar Amorim**

Instituto Militar de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

### RESUMO

O processo erosivo nas margens fluviais compromete a infraestrutura hidroviária, provocando alterações na seção transversal do rio, que, em consequência, prejudica as condições de navegação. Estruturas de proteção de margens são projetadas para o controle da erosão. Porém, essas aplicações frequentemente transferem problemas de erosão para outras áreas do rio e afetam a integridade ecológica dos cursos d'água. Nas últimas décadas, os métodos tradicionalmente utilizados estão sendo reavaliados no contexto dos impactos ambientais resultantes. Em resposta, surge a necessidade de buscar alternativas mais brandas e ambientalmente sensíveis às abordagens convencionais de estabilização de margem. Logo, o presente trabalho apresenta uma proposta de dissertação, que tem como objetivo geral analisar e adaptar alternativas sustentáveis de estabilização de margens de cursos d'água aos rios brasileiros, adequadas à sua geomorfologia e às suas condições sazonais, e propor uma metodologia de aplicação, visando, principalmente, a melhoria das condições para a navegação.

### 1. INTRODUÇÃO

No que concerne a navegação fluvial, o Brasil dispõe de uma malha hidroviária de aproximadamente 42 mil quilômetros, dos quais somente 19,5 mil quilômetros são economicamente navegados, o que corresponde a 46,4% da sua capacidade. Esse percentual pode ser explicado pela falta de confiança de algumas empresas na navegabilidade em determinados trechos da hidrovia (ANTAQ, 2018), por não apresentarem profundidades e larguras confiáveis para um trânsito de embarcações seguro (Pokrefke, 2012). Portanto, para valer-se de todo potencial hídrico do país e estimular a participação do modo hidroviário na matriz brasileira de transportes é essencial oferecer condições de navegação, segurança e garantia de tráfego às hidrovias, por meio de uma infraestrutura ampla e de qualidade.

No entanto, a erosão de margens fluviais é um fator que interfere na infraestrutura das hidrovias. O processo erosivo gera uma escavação contínua na margem côncava, onde a velocidade é maior, e deposição na margem convexa, local de menor velocidade (Cristofoletti, 1981), provocando a migração lateral do curso d'água. Tal fenômeno também contribui no incremento da carga de sedimentos e no alargamento do canal, resultando no assoreamento do rio (Biedenharn *et al.*, 1997). A consequente diminuição da profundidade é um dos maiores limitantes para a navegação, justificando a necessidade de obras e intervenções nos cursos d'água.

A fim de proteger e estabilizar as margens, a engenharia fluvial projeta estruturas de controle de erosão. Porém, nas últimas décadas as aplicações tradicionais de métodos de estabilização de margens estão sendo reavaliadas no contexto dos impactos ambientais resultantes. Além da perda de benefícios ecológicos, os métodos tradicionais frequentemente transferem problemas de erosão para outras áreas do rio e pouca atenção é dada aos efeitos secundários ou aos impactos que estas práticas terão nas áreas a montante e/ou a jusante dos cursos d'água (Li e Eddleman, 2002).

Assim, é fundamental promover a estabilização dos cursos d'água por meio de técnicas menos

agressivas ao meio natural, adotando medidas mais brandas e ambientalmente sensíveis como alternativas às abordagens convencionais de proteção de margem. Essas técnicas sustentáveis são denominadas de bioengenharia e enfatizam o uso de elementos vegetativos, possivelmente em combinação com elementos de revestimento (Lyn e Newton, 2015). Os seus benefícios complementam as deficiências dos métodos tradicionais, visam a sustentabilidade e a melhoria das condições para a navegação.

## 2. META

O principal objetivo da dissertação é analisar e adaptar alternativas sustentáveis de estabilização de margens de cursos d'água aos rios brasileiros, adequadas à sua geomorfologia e às suas condições sazonais, e propor uma metodologia de aplicação, visando, principalmente, a melhoria das condições para a navegação. Para tanto é necessário revisar as técnicas de estabilização de margem de cursos d'água disponíveis atualmente, estudar os conceitos de geomorfologia fluvial e as características necessárias para adequação dos cursos d'água à navegação fluvial. E então, adaptar as alternativas sustentáveis de estabilização de rios à realidade brasileira e associar os efeitos das ações antropogênicas com as medidas de revitalização de margem mais adequadas. Também estudar-se-á a viabilidade de aplicação das técnicas de bioengenharia a um estudo de caso (Rio São Francisco - 4º BEC).

## 3. ESTUDO DE CASO

Trata-se da obra de revitalização das margens do rio São Francisco, em execução pelo Exército Brasileiro. Realizada pelo 4º Batalhão de Engenharia de Construção (4º BEC), a obra abrange uma extensão de 2.800 m da margem esquerda do rio São Francisco, no Estado da Bahia. Tem por objetivo diminuir o avanço do processo erosivo, principalmente em áreas degradadas, onde a remoção da mata ciliar tem acelerado o processo natural de erosão, provocando o assoreamento do rio. Para conter os processos erosivos e minimizar os impactos ambientais, o projeto previu obras de suavização da inclinação da margem, aplicação de biomanta de fibra de coco, para cobertura e proteção do solo, e revestimento vegetativo da margem, por meio de semeadura e de plantio de mudas de espécies nativas.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os métodos de bioengenharia para proteção de margens atingem metas que não são consideradas na prática da engenharia tradicional, contribuindo para o controle da erosão, aumento da estabilidade, restabelecimento da mata ciliar, redução do alargamento dos rios e deposição de sedimentos (McCulloch, 2000). 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 e Newton, 2015). Os estágios iniciais do estabelecimento da vegetação são os mais críticos, portanto, as estruturas devem ser capazes de resistir às forças de erosão até que os sistemas radiculares se desenvolvam (Jarvis e Richards, 2008). Segundo USDA (2007), o sucesso das técnicas de bioengenharia depende do estabelecimento inicial e do desenvolvimento a longo prazo da vegetação.

Quanto as abordagens da literatura pesquisada, o livro de Gray e Sotir (1996) fornece uma base geotécnica para medidas de bioengenharia para a estabilização de margens fluviais. O capítulo mais abrangente é dedicado a oito técnicas de bioengenharia, trazendo esboços de algumas delas nos apêndices. Cada técnica é descrita, incluindo sua aplicação e objetivos, os

materiais envolvidos e sua instalação. Um outro capítulo apresenta técnicas combinadas, como enrocamento vegetado. Estudos de caso também são apresentados, embora apenas um caso de estabilização de rio esteja incluído.

O manual de USDA (1996) também abrange técnicas comuns de bioengenharia, cada uma com detalhes sobre aplicações e eficácia, diretrizes de construção e instalação e apresenta esboços detalhados das técnicas. No documento do USDA (2007) é feito uso efetivo de tabelas para apresentar pontos importantes. Por exemplo, uma tabela ilustra a relação entre a tolerância ao movimento da margem e a técnica apropriada para a sua estabilização. Outra tabela lista as questões que devem ser respondidas para obter uma solução eficaz orientada para a bioengenharia. A maioria das perguntas se concentram no diagnóstico da causa principal. No complemento técnico, zonas ao longo da margem são identificadas e técnicas de bioengenharia foram divididas em seções que abordam essas diferentes zonas.

#### **4.1. Técnicas de bioengenharia**

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. Na sequência é apresentada uma descrição sucinta de algumas técnicas de bioengenharia, cujo estudo é de interesse para o desenvolvimento do trabalho. Embora as técnicas sejam mencionadas individualmente, nada impede de serem utilizadas de forma combinada, a fim de maximizar a eficácia de proteção e obtenção dos objetivos.

##### *4.1.1. Estacas vivas*

Esta técnica consiste na aplicação de estacas vegetativas no solo. Ao se desenvolverem, as estacas criam raízes que estabilizam o solo. Também são utilizadas para fixar e melhorar o desempenho de tecidos de controle de erosão e estabilizar áreas intervenientes entre outras técnicas de bioengenharia do solo (FISRWG, 1998).

##### *4.1.2. Feixes vivos*

Formando uma estrutura cilíndrica, os feixes vivos são dispostos na margem, em trincheiras longitudinais. Esta técnica reduz o comprimento do talude em uma série de declives mais curtos, proporcionando maior estabilidade. Estacas vivas são utilizadas para dar suporte aos feixes vivos (USDA, 1996).

##### *4.1.3. Empacotamento de ramos*

Esta técnica envolve o preenchimento de regiões erodidas na margem, na qual o aterro é constituído de camadas alternadas de ramos vivos e de solo compactado. Neste método as raízes se espalham pelo aterro e pela terra circundante para formar uma massa unificada. É indicado para reparar pequenos deslizamentos e cavidades nas margens (Gray e Sotir, 1996).

##### *4.1.4 Geogrelha vegetada*

Semelhante ao empacotamento de ramos, a técnica de geogrelha vegetada também busca aterrar regiões erodidas, porém as camadas de solo são envolvidas por materiais geotêxteis naturais ou sintéticos (USDA, 1996).

##### *4.1.5 Muro de suporte vivo*

O muro de suporte vivo é uma estrutura em forma de caixa, constituída de troncos de madeira.

O seu interior é revestido com pedras, da base até o nível da água, e em seguida com solo e camadas de ramos vivos, que se estendem e penetram na margem. Esta técnica é capaz de estabilizar a base do talude e reduzir sua inclinação, efetiva em curvas externas dos cursos d'água, onde correntes fortes estão presentes (FISRWG, 1998).

#### 4.1.6 Entrelaçamento vivo

Esta técnica consiste em uma mistura de artesanato e engenharia, na qual longos ramos são entrelaçados em torno de estacas cravadas verticalmente no solo, dando origem a uma estrutura de revestimento que irá se enraizar na margem e crescer (Anstead *et al.*, 2012).

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anstead, L.; R. R. Boar e N. K. Tovey (2012) The Effectiveness of a Soil Bioengineering Solution for Riverbank Stabilization During Flood and Drought Conditions: Two Case Studies from East Anglia. *Royal Geographical Society*, v. 44, n. 4, p. 479–488.
- ANTAQ (2018) *Vias economicamente navegadas – VEN 2016*. Agência Nacional de Transportes Aquaviários, Brasília.
- Biedenharn, D. S.; C. M. Elliott e C. C. Watson (1997) *The WES Stream Investigation and Streambank stabilization Handbook*. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. 436 p.
- Christofoletti, A. (1981) *Geomorfologia fluvial. Volume I – O canal fluvial*. Edgard Blücher, São Paulo.
- 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.
- Gray, D.H. e R.B. Sotir (1996) *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control*. Wiley, New York.
- Jarvis, R. e I.G. Richards (2008) *Engineering and the Environment – Perfect Partners? The Use of Willows in Bioengineering*. Meeting report, CIWEM, Birmingham, Reino Unido. 10 p.
- Li, M. H. e K. E. Eddleman (2002) *Biotechnical Engineering as an Alternative to Traditional Engineering Methods: A Biotechnical Streambank Stabilization Design Approach*. *Landscape and Urban Planning*, v. 60, p. 225-242.
- Lyn, D. A. e J. F. Newton (2015) *Approaches to the Design of Biotechnical Streambank Stabilization: Volume I - A Guide to the Literature*. *Joint Transportation Research Program Publication*. West Lafayette, IN: Purdue University.
- McCulloch, I. (2000) *Willow Spiling – The Use of Willow Spilings (Stems) to Control Riverbank Erosion*. *Enact – Peterborough* v. 8, p. 19-20.
- Pokrefke, T.J. (2012) *Inland Navigation: Channel Training Works*. *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice*. p. 1-186.
- 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.
- 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.

---

Letícia Lenz (leticialenz95@gmail.com)

Igor da Silva Rocha Paz (igorpaz@ime.eb.br)

José Carlos Cesar Amorim (jcamorim@ime.eb.br)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia  
Praça General Tibúrcio, 80 – Urca, Rio de Janeiro - RJ, Brasil