



Resiliência de Obra de Engenharia Natural Executada para Estabilização de Talude Fluvial Face às Enchentes no Rio Grande do Sul

Junior Joel Dewes

Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, junior.dewes@acad.ufsm.br

Rita dos Santos Sousa

Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Laboratório de Engenharia Natural da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, ritasousa.ufsm@gmail.com

Fabício Jaques Sutili

Professor Dr., Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, fjsutili@gmail.com

RESUMO: Os eventos extremos potencializam a ocorrência de erosões, causando impactos significativos como perda de vidas, danos à infraestrutura e interrupção de serviços essenciais. Convencionalmente o controle e mitigação de erosões em taludes fluviais é realizado com técnicas de Engenharia Civil. No entanto, com o aumento da conscientização ambiental surge a demanda por técnicas de menor impacto ambiental que valorizem características ecológicas dos sistemas fluviais. A Engenharia Natural mostra-se como uma solução viável, considerando critérios técnicos no dimensionamento das estruturas e valorização dos fatores ambientais. O objetivo deste trabalho é apresentar uma obra de Engenharia Natural executada para estabilização e controle de processos erosivos num trecho do Rio Pardo (Santa Cruz do Sul) e a sua resiliência face às enchentes ocorridas em 2024 no Rio Grande do Sul. Foi avaliado o desenvolvimento da vegetação, deposição de sedimento, processos erosivos e o comportamento das estruturas. Apesar dos impactos adversos nas plantas causados pelas enchentes, 11 meses após os eventos verificou-se a regeneração da vegetação, o que comprova a capacidade de resiliência das técnicas, o que normalmente não ocorre em estruturas tradicionais construídas unicamente com materiais inertes. As técnicas mostraram-se eficientes para mitigar os processos erosivos no talude fluvial, apresentando resistência e resiliência face aos eventos climáticos extremos ocorridos em 2024.

PALAVRAS-CHAVE: Erosão Fluvial, Eventos Extremos, Soluções Biotécnicas, Soluções Baseadas na Natureza.

ABSTRACT: Extreme events increase the occurrence of erosion, causing significant impacts such as loss of life, damage to infrastructure and interruption of essential services. Conventionally, the control and mitigation of erosion on river slopes is carried out using civil engineering techniques. However, as environmental awareness increases, there is a demand for techniques with a lower environmental impact that value the ecological characteristics of fluvial systems. Soil bioengineering is proving to be a viable solution, taking technical criteria into account in the design of structures and valuing environmental factors. The aim of this paper is to present a Soil bioengineering project executed to stabilize and control erosion processes in a stretch of the Pardo River (Santa Cruz do Sul) and its resilience in the face of floods in 2024 in Rio Grande do Sul. Vegetation development, sediment deposition, erosion processes and the behavior of the structures were evaluated. Despite the adverse impacts on plants caused by the floods, 11 months after the events there was regeneration of the vegetation, which proves the resilience of the techniques, which does not normally occur in traditional structures built solely with inert materials. The techniques proved to be efficient in mitigating the erosion processes on the river slope, showing resistance and resilience to the extreme weather events that occurred in 2024.

KEYWORDS: Fluvial Erosion, Extreme Events, Biotechnical Solutions, Nature Based Solutions.



1 INTRODUÇÃO

A erosão é um processo contínuo e natural que contribui para a distribuição de sedimentos na superfície terrestre. No entanto, erosão acelerada do solo causada pela ação da água, vento, gravidade e antrópica apresenta-se como um dos maiores problemas ambientais, agrícolas e sociais do mundo (Abeyasingha; Ray, 2025).

Os eventos extremos, como estiagens prolongadas, chuvas intensas, inundações, incêndios florestais, entre outros potencializam ainda mais os processos erosivos, que podem causar impactos significativos como perda de vidas, danos à infraestrutura e interrupção de serviços essenciais. Nos últimos anos, o estado do Rio Grande do Sul tem sido frequentemente atingido por desastres naturais associados a elevados índices de precipitação que causaram graves inundações e, consequentemente, elevados prejuízos econômicos e ambientais. Em particular, as enchentes de 2024 foram classificadas como o maior desastre da história do estado, atingindo 471 municípios (95% dos municípios gaúchos). O nível da água dos principais rios do estado entre o final de Abril e Julho de 2024 superou em vários metros a cota de inundação (DRHS/SEMA-RS, 2025). Entre os diversos problemas causados pelas inundações destacam-se os processos erosivos nas margens e leito dos cursos de água.

Os mecanismos envolvidos em processos erosivos em taludes fluviais são complexos, uma vez que a erosão é influenciada por diversos fatores, como nível da água, fluxo de água subterrâneo, propriedades do solo das margens e vegetação ciliar (Yang et al., 2024). A erosão fluvial é um processo natural importante na manutenção da capacidade de escoamento dos canais aluviais (Henshaw; Thorne; Clifford, 2013; Lane et al., 2007) e na promoção da diversidade biológica em áreas ribeirinhas e na planície de inundação (Salo et al., 1986). No entanto, taxas aceleradas de meandrização de canais pode causar danos em infraestruturas, perda de terras agrícolas e contribuir para a maior parte da carga total de sedimentos em uma bacia hidrográfica (Lawler; Thorne; Hooke, 1997; Sekely; Mulla; Bauer, 2002; Wilson et al., 2008). Outro aspecto é que o assoreamento tem graves implicações para os habitats aquáticos e qualidade da água (Martins et al., 2003; Owens et al., 2005; Stover; Montgomery, 2001).

Atualmente, seja em contexto brasileiro ou mundial, existe um aumento com a preocupação da preservação de recursos naturais, principalmente em áreas de maior fragilidade ambiental, como as áreas no entorno de cursos de água. Convencionalmente, o controle e mitigação de processos erosivos em taludes fluviais é realizado principalmente com técnicas tradicionais de Engenharia Civil como revestimentos em concreto, muros e colchões de gabião, sacos de solo cimento, enrocamento em pedra, entre outras. Alternativamente também são executadas obras que se baseiam em simples plantios de espécies vegetais ou aplicação de mantas de coco ou palha. Enquanto que as primeiras técnicas são rígidas e não levam em consideração a conectividade hidráulica e ecológica dos cursos de água, as segundas não consideram critérios técnicos como rugosidade hidráulica, velocidades de fluxo da água, coesão ou ângulo de atrito interno do solo e, por isso, se mostram muitas vezes ineficazes do ponto de vista da proteção e estabilidade das margens.

Assim sendo, com o aumento da conscientização ambiental surge a demanda por técnicas de menor impacto ambiental que valorizem as características ambientais e a conectividade hidráulica de sistemas fluviais e que, simultaneamente, levem em consideração critérios técnicos. As técnicas de Engenharia Natural (biotécnicas) mostram-se como uma solução viável, uma vez que, além de levarem em consideração critérios técnicos no dimensionamento das intervenções, também valorizam os fatores ecológicos e ambientais (Coppin; Richards, 2007; Sousa et al., 2021).

A Engenharia Natural é uma área da Engenharia que utiliza principalmente materiais construtivos vivos, (sementes, plantas e partes de plantas) que podem, ou não, ser combinados com materiais inertes (solo, pedra, madeira, etc.) (Schiechtl, 1980). As técnicas de Engenharia Natural proporcionam soluções baseadas na natureza como uma alternativa ou como medidas complementares às abordagens convencionais de engenharia hidráulica ou civil (Hörbinger, 2021). Podem ser aplicadas em problemas estruturais de estabilização geotécnica e hidráulica, controlar processos erosivos superficiais, e simultaneamente projetar ecossistemas em equilíbrio dinâmico (Sousa, 2015). São utilizados os conhecimentos biológicos das plantas que lhes conferem propriedades biotécnicas para o uso nas intervenções de recuperação de áreas degradadas (Coppin; Richards, 2007; Durló; Sutili, 2014; Morgan; Rickson, 1995). Desta forma, a seleção de plantas para as intervenções de Engenharia Natural é realizada com base em critérios técnicos, além de ecológicos e paisagísticos (Sousa, 2015). São técnicas que apresentam baixo impacto ambiental com esquemas



construtivos mais flexíveis e permeáveis facilmente integráveis à natureza, não sofrendo recalques e movimentações de solo (SOUSA, 2015). Devido ao uso de plantas, essas técnicas exibem características como capacidade de deformação, resiliência e regeneração das partes danificadas, algo que não é observado em estruturas tradicionais construídas usando apenas materiais inertes (Sousa et al., 2020).

O objetivo deste trabalho é apresentar uma obra de Engenharia Natural executada para estabilização e controle de processos erosivos num trecho do Rio Pardinho em Santa Cruz do Sul (RS) e a sua resiliência face às enchentes ocorridas em 2024 no Rio Grande do Sul.

2 METODOLOGIA DE TRABALHO

2.1 Descrição da Área de Estudo

A área de estudo está localizada no município de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, nas coordenadas 29°40'29,43" Sul e 52°27'43,35" Oeste. O trecho de intervenção tem cerca de 80 m de comprimento e está localizado na margem esquerda do Rio Pardinho à jusante da barragem de captação de água da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). O trecho apresenta um processo erosivo que surgiu após a construção de uma adutora para captação de água, com desvio do eixo do curso de água para a margem esquerda. O desvio do fluxo de água ocasionou um processo de corrosão na base do talude, seguido de desconfinamento e posteriores movimentos de massa (deslizamentos e desmoronamentos), com consequente perda e transporte de solo para jusante. Este processo contínuo originou taludes fluviais com inclinações de até 50°, que associadas às alturas de ≈ 7 m e baixas características de resistência do solo impediu o estabelecimento espontâneo da vegetação. Outro fator instabilizante foi a presença de árvores de grande porte, timbaúvas (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) no topo do talude, que aumentaram a componente vertical da sobrecarga, deslocando o centro de gravidade do talude para posições geotecnicamente menos estáveis, além de encaminharem e transmitirem forças solicitantes ao talude por ação do vento, criando um efeito alavanca que agrava a dinâmica de desconfinamento.

Por exigência do Ministério Público Federal (MPF), com o objetivo de evitar a evolução do processo erosivo, foi solicitado à CORSAN a implementação de uma solução que solucionasse o problema, considerando que o local de intervenção está localizada em Área de Preservação Permanente (APP). Desta forma, foi elaborado um projeto que atendesse às condições técnicas impostas pela tipologia de processo erosivo, mas que também apresentasse um caráter ecológico, visando a mitigação do impacto nas características ambientais da APP, optando-se pela prescrição de soluções de Engenharia Natural. O projeto foi elaborado em dezembro de 2009 pelo Centro de Pesquisa Florestal e Ambiental (CEPEFLORA) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Campus de Frederico Westphalen.

2.2 Descrição das Técnicas de Intervenção

O projeto de Engenharia Natural consistiu na estabilização e proteção da base do talude com enrocamento vegetado com mudas de *Salix humboldtiana* Willd (salgueiro) e *Calliandra brevipes* Benth. (caliandra rosa). Além disso, na base do enrocamento junto à linha de água foram utilizadas estacas vivas de *Phyllanthus sellowianus* (Klotzsch) Müll.Arg. (sarandi branco). Para execução do enrocamento foram utilizados blocos de basalto com dimensão média de 0,50 m, atendendo à velocidade limite de transporte do fluxo (velocidade crítica de erosão), conforme dimensionamento hidráulico para período de retorno (TR) de 25 anos. Acima do enrocamento foi projetada uma banquetta com 5 metros de profundidade, onde foram plantados arbustos inteiros das espécies *Pouteria salicifolia* (Spreng.) Radlk. (sarandi mata-olho), *Schinus molle* L. (aroeira-salvo), *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-vermelha) e *Terminalia australis* Cambess. (sarandi amarelo). Sobre a banquetta de arbustos formou-se um segundo patamar onde foram ancoradas árvores inteiras de salgueiro, com prumos de madeira (diâmetro 20 cm e comprimento 2,5 m), cravados no solo com um ângulo de 45° (contra o fluxo de água) e interligados entre si por um cabo de aço (diâmetro 11 mm). No final as árvores foram cobertas por uma camada de solo para promover a sua propagação vegetativa. As árvores (timbaúvas) de grande porte do topo dos taludes foram cortadas (conforme licença ambiental) para utilizar na execução da segunda linha de árvores ancoradas com prumos de madeira, visando

diminuir a sobrecarga no topo do talude e simultaneamente utilizar as mesmas para proteger superficialmente o solo. No final foi feito um retaludamento do topo do talude. Foi ainda executado o plantio de mudas de espécies autóctones no talude durante a primavera (segunda fase) como medida complementar, uma vez que a obra foi executada no outono, época do ano em que a vegetação apresenta baixas taxas de desenvolvimento vegetativo. Os detalhes construtivos do projeto podem ser observados na Figura 1.

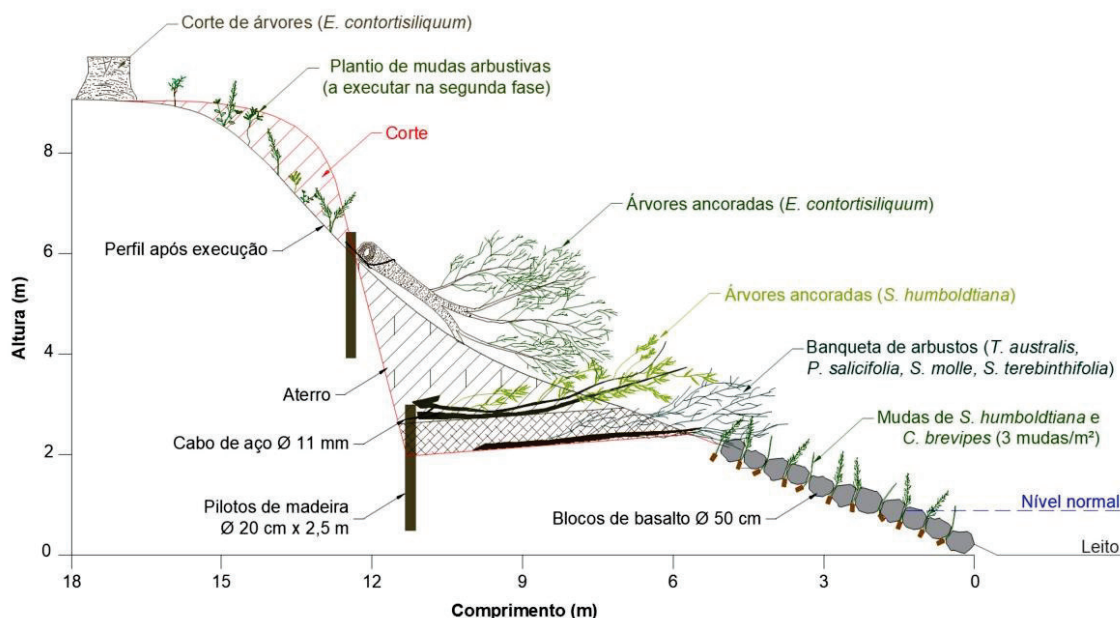


Figura 1. Seção tipo do projeto de Engenharia Natural implementado na margem esquerda do Rio Pardinho (Sutilli; Herpich; Cadoná, 2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A intervenção foi concluída no final do mês de Abril de 2010, sendo que durante o mês de Setembro de 2010 ocorreram eventos de precipitação intensa que elevaram o nível de água até à porção superior do talude, submergindo parcialmente as intervenções executadas. Durante esses eventos as árvores ancoradas (timbaúvas) foram arrastadas pelo fluxo de água, mas não foram identificados processos erosivos no talude. Em Outubro, conforme previsto em projeto, foi realizada a intervenção de plantio complementar na parte superior do talude, ampliando-se essa intervenção até à área do talude exposto devido à remoção das timbaúvas ancoradas. Não foram realizadas intervenções de manutenção após a finalização da obra.

O monitoramento quantitativo foi realizado em 2010, 2013, 2017 e 2020 para avaliação do desenvolvimento da vegetação implantada, uma vez que o sucesso das intervenções de Engenharia Natural para estabilização de taludes fluviais depende do desenvolvimento da componente vegetativa (Hoag; Fripp, 2002). Também foi avaliada a deposição de sedimento em 2017 e 2020. Além disso, foram realizadas diversas visitas para monitoramento qualitativo da intervenção. Destacam-se as vistorias realizadas em 2024 e 2025 durante e após os eventos climáticos extremos ocorridos no estado, para avaliação visual da ocorrência de processos erosivos, comportamento das estruturas e da vegetação. Na Figura 2 pode observar-se o perfil tipo da evolução das intervenções com o desenvolvimento da vegetação, a deposição de solo avaliada em 2020 e a indicação dos níveis de água, nomeadamente a cota máxima registrada até 2023 e a cota da enchente de 2024.

De modo geral, até 2024 verificou-se que a vegetação apresentou boas taxas de sobrevivência e desenvolvimento, conforme se pode observar na Figura 2. Os dados relativos ao desenvolvimento da vegetação, nomeadamente altura, diâmetro, número de indivíduos, riqueza, diversidade e presença de vegetação exótica podem ser consultados em Kettenhuber et al. (2023). Não foram detectados processos erosivos, observando-se inclusive deposição de solo dentro da área de intervenção devido à redução da velocidade de fluxo na margem causada pelo aumento da rugosidade hidráulica, resultado direto da implantação da vegetação.

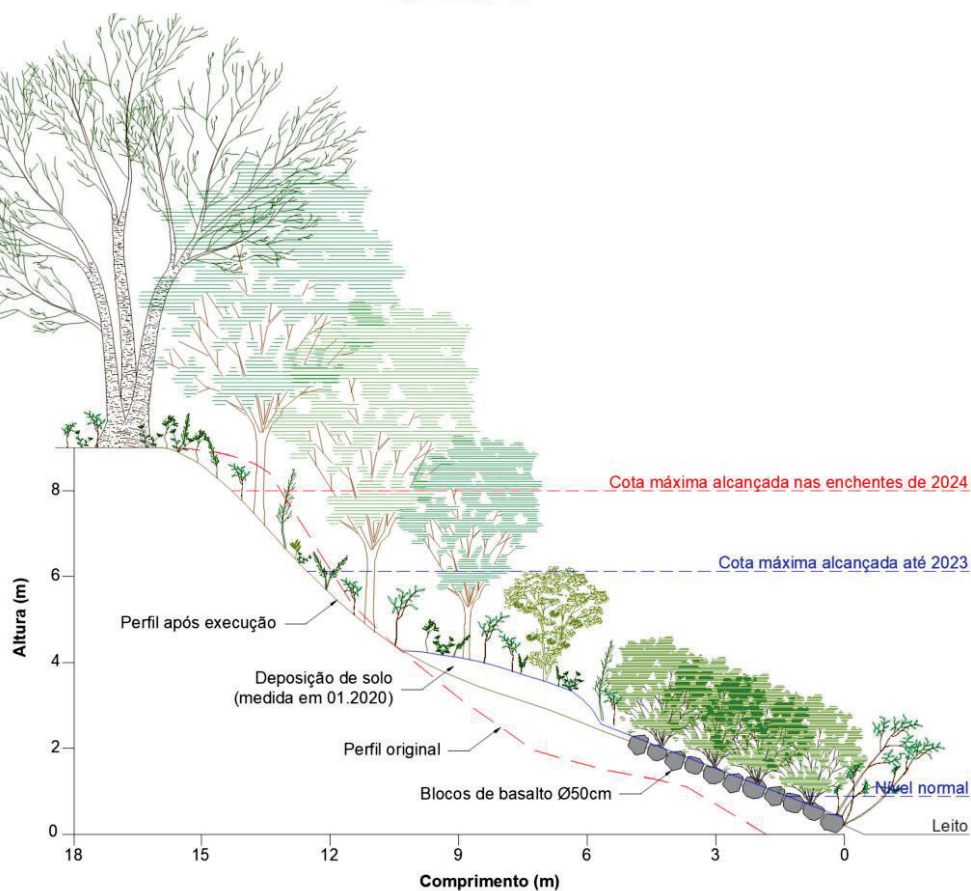


Figura 2. Seção tipo da obra de Engenharia Natural implementada, marcação dos níveis de água do Rio Pardinho e deposição de solo. Fonte: Os autores.

Na Figura 3 pode observar-se a área antes da intervenção em 2009 (A), a execução da obra em 2010 (B) e o estabelecimento da vegetação em 2012 e 2018 (C e D).

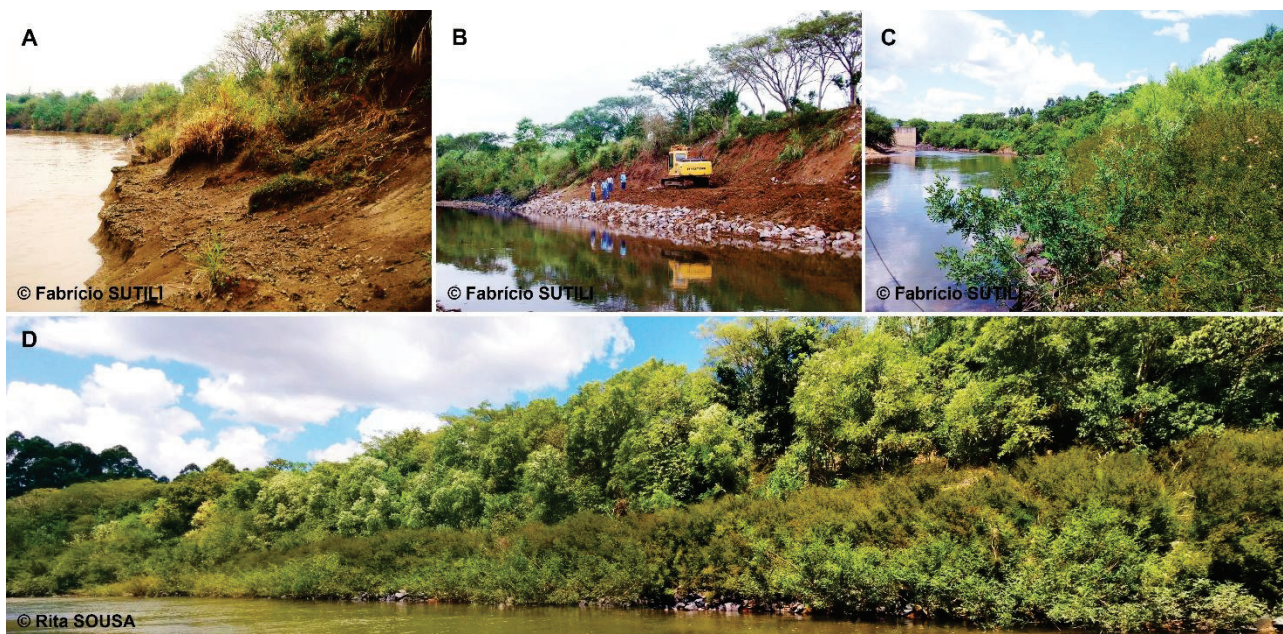


Figura 3. Evolução da área de intervenção (vista de jusante para montante). A – Talude antes da intervenção (julho/2009); B – Durante a execução da obra (abril/2010); C – Talude com vegetação estabelecida (novembro/2012); D – Talude 8 anos após a intervenção (fevereiro/2018).

Durante os eventos climáticos extremos ocorridos entre o final de Abril e Junho de 2024 a intervenção sofreu várias submersões, ficando quase completamente submersa (conforme indicação da cota máxima atingida durante as enchentes indicada na Figura 2). Após as enchentes verificou-se que a vegetação sofreu danos provocados pelas elevadas vazões, ocorrendo flexão e desfolhamento completo das plantas arbustivas (Figura 4A). No entanto, não se verificaram processos erosivos, como remoção superficial do solo ou movimentos de massa. Também não ocorreu movimentação das pedras do enrocamento vivo e observou-se deposição de solo dentro da área de intervenção. Já nas áreas adjacentes a jusante e na margem direita constatou-se intensa perda de solo nos taludes e diversos pontos onde ocorreram movimentos de massa.

Desta forma, verificou-se que as técnicas de Engenharia Natural contribuíram para a proteção e estabilização da margem. A utilização de vegetação arbustiva autóctone flexível que se dobra sobre o talude promoveu a proteção superficial do solo e os sistemas radiculares das plantas contribuíram para a estruturação e confinamento do solo, aumentando a sua resistência ao fluxo de água. Além disso, a presença de vegetação combinada com o enrocamento aumenta a rugosidade hidráulica e, consequentemente, reduz a velocidade do fluxo junto à margem, o que contribui para a estabilização das estruturas.

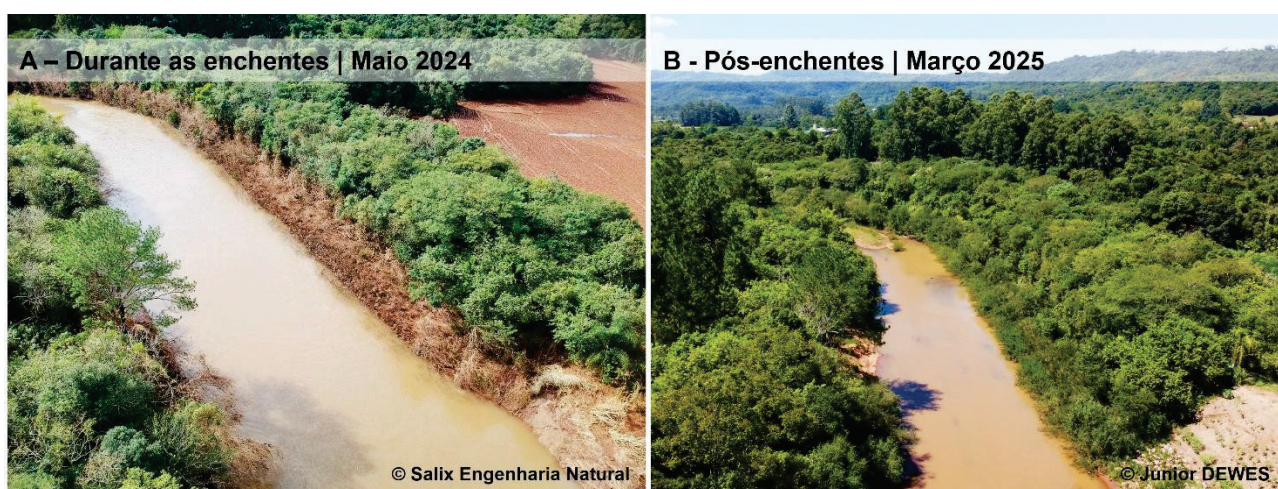


Figura 4. Área de intervenção durante o período das enchentes e pós-enchentes. A – Durante as enchentes com danos visíveis na vegetação (17/05/2024); B – Área com a vegetação reestabelecida 10 meses após as enchentes (04/03/2025).

Salienta-se a importância da especificação adequada das espécies vegetais a serem utilizadas em intervenções de Engenharia Natural em taludes fluviais, nomeadamente características biotécnicas relativas ao porte, flexibilidade e sistemas radiculares. Desta forma, recomenda-se a utilização de plantas de porte arbustivo, flexíveis e que apresentem sistemas radiculares densos e profundos. Árvores de grande porte em margens fluviais podem contribuir para o aumento da sobrecarga, transmitir forças oriundas dos ventos e causar turbilhonamento do fluxo, fatores que contribuem para aumentar a instabilidade geotécnica de taludes.

Apesar dos impactos adversos nas plantas causados pelo fluxo durante as enchentes, 10 meses após os eventos extremos verificou-se que ocorreu regeneração da vegetação quase na sua totalidade (Figura 4B), o que comprova a capacidade de resiliência das técnicas após a perturbação, o que normalmente não ocorre em estruturas tradicionais construídas usando apenas materiais inertes.

Além disso, a Engenharia Natural promoveu a formação de uma mata ciliar resiliente, sendo que as Áreas de Preservação Permanente (APP's) fornecem uma ampla gama de funções e serviços ecossistêmicos essenciais. As zonas ripárias contribuem para a estabilização do solo nas margens dos rios, controlar processos erosivos e a sedimentação (Moraes et al., 2014; Rauch; Sutili; Hörbinger, 2014), servem como barreiras naturais que filtram a poluição (Rieger et al., 2014), fornecem habitats importantes para espécies de vida selvagem (Viegas et al., 2014) e contribuem para a conectividade ecológica entre fragmentos de habitat (Fremier et al., 2015).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas de Engenharia Natural mostraram-se tecnicamente eficientes para mitigar os processos erosivos na margem do Rio Pardinho, apresentando resistência e resiliência face aos eventos climáticos extremos ocorridos em 2024. Além dos benefícios técnicos, as soluções implementadas trouxeram melhorias nas funções ecológicas e ambientais, com restabelecimento de vegetação nativa e aumento da biodiversidade florística e faunística. Uma vez que as intervenções de Engenharia Natural têm eficiência técnica crescente com o passar do tempo, espera-se que as mesmas continuem a atender os critérios para os quais foram projetadas.

Em ações de restauro e conservação, principalmente em áreas ripárias, a mitigação dos impactos ambientais tem um papel fundamental e, por isso, se pode assumir que as biotécnicas têm um valor intrínseco elevado, por serem obras com alto valor agregado, devido ao seu caráter ecológico e paisagístico.

AGRADECIMENTOS

Os Autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), à CORSAN e à Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência (FATEC) pelo apoio e recursos recebidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeyasingha, Nimal; Ray, Ram. Rivers at risk, soil erosion in a changing climate: a comprehensive review. *Discover Soil*, v. 2, 3 mar. 2025.
- Coppin, N. J.; Richards, I. G. (ORGS.). *Use of Vegetation in Civil Engineering*. 2ª ed. London, UK: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), 2007.
- DRHS/SEMA-RS. *Monitoramento Hidrológico: Níveis dos principais rios do Estado (29/04 a 25/07/24)*. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOGY0ZDFiYjctZmE0NS00NTdlLTkyYWUtZTBmMWFmZmUxOWQ0IiwidCI6IjE1ZGNkOTA5LTlkYzAtNDBIOS1hMWU1LWNIY2IwNTNjZGQxYSJ9>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- Durlo, Miguel; Sutili, Fabrício. *Bioengenharia - Manejo biotécnico de cursos de água*. 3ª ed. Santa Maria: Pallotti, 2014.
- Fremier, Alexander K. *et al.* A riparian conservation network for ecological resilience. *Biological Conservation*, v. 191, p. 29–37, 1 nov. 2015.
- Henshaw, Alexander J.; Thorne, Colin R.; Clifford, Nicholas J. Identifying causes and controls of river bank erosion in a British upland catchment. *CATENA*, v. 100, p. 107–119, 1 jan. 2013.
- Hoag, J. Chris.; Fripp, Jon. *Streambank Soil Bioengineering Field Guide for Low Precipitation Areas*. Aberdeen, Idaho: USDA Natural Resources Conservation Service, Plant Material Center, 2002.
- Hörbinger, S. *Decision-Making Framework to Support Green-Blue Infrastructure Multifunctionality*. Viena, Austria: University of Natural Resources and Life Sciences, 2021.
- Lane, S. N. *et al.* Interactions between sediment delivery, channel change, climate change and flood risk in a temperate upland environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 32, n. 3, p. 429–446, 2007.
- Lawler, D. M.; Thorne, C. R.; Hooke, J. M. Bank erosion and instability. In: Thorne, C. R.; Hey, Richard D.; Newson, Malcolm D. (Eds.). *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. Chichester: John Wiley and Sons Ltd, 1997. p. 137–172.
- Martins, S. G. *et al.* Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 395–403, jun. 2003.



- Moraes, Aline Bianca *et al.* Reduced riparian zone width compromises aquatic macroinvertebrate communities in streams of southern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 186, n. 11, p. 7063–7074, 1 nov. 2014.
- Morgan, R. P. C.; Rickson, R. J. *Slope stabilization and erosion control - A bioengineering approach*. 1ª ed. London, UK: Chapman & Hall, 1995.
- Owens, P. N. *et al.* Fine-grained sediment in river systems: environmental significance and management issues. *River Research and Applications*, v. 21, n. 7, p. 693–717, 2005.
- Rauch, Hans Peter; Sutili, F.; Hörbinger, Stephan. Installation of a Riparian Forest by Means of Soil Bio Engineering Techniques - Monitoring Results from a River Restoration Work in Southern Brazil. *Open Journal of Forestry*, v. 04, n. 02, p. 161–169, 1 jan. 2014.
- Rieger, Isaak *et al.* The interplay of sedimentation and carbon accretion in riparian forests. *Geomorphology*, v. 214, p. 157–167, 1 jun. 2014.
- Salo, Jukka *et al.* River dynamics and the diversity of Amazon lowland forest. *Nature*, v. 322, n. 6076, p. 254–258, jul. 1986.
- Schiechtl, Hugo. *Bioengineering for land reclamation and conservation*. Edmonton, Canada: Department of the Environment, Government of Alberta. University of Alberta Press, 1980.
- Sekely, A. C.; Mulla, D. J.; Bauer, D. W. Streambank slumping and its contribution to the phosphorus and suspended sediment loads of the Blue Earth River, Minnesota. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 57, n. 5, p. 243–250, set. 2002.
- Sousa, Rita S. *Metodologia para especificação de plantas com potencial biotécnico em Engenharia Natural*. Dissertação de Mestrado—Santa Maria, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria, 2015.
- Sousa, Rita S. *et al.* Engenharia natural: o uso e avaliação de plantas de uma perspectiva de engenharia. *Scientia Vitae*, v. 9, n. 27, p. 1–13, 2020.
- Sousa, Rita S. *et al.* Economic viability of streambank stabilization work with nature-based solutions applied to a pipeline stream crossing in South America. *International Journal of Development Research*, v. 11, n. 5, p. 46864–46868, 2021.
- Stover, S. C.; Montgomery, D. R. Channel change and flooding, Skokomish River, Washington. *Journal of Hydrology*, v. 243, n. 3, p. 272–286, 2001.
- Sutili, Fabrício; Herpich, Maikon; Cadoná, Suelen. *Estabilização Biotécnica no Rio Pardinho - Memorial Descritivo de Execução*. Universidade Federal de Santa Maria - Centro de Pesquisa Florestal e Ambiental, 2010.
- Viegas, Gustavo *et al.* Dung beetle communities as biological indicators of riparian forest widths in southern Brazil. *Ecological Indicators*, v. 36, p. 703–710, 1 jan. 2014.
- Wilson, C. G. *et al.* Quantifying relative contributions from sediment sources in Conservation Effects Assessment Project watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 63, n. 6, p. 523–532, 1 nov. 2008.
- Yang, Jun *et al.* Bank erosion under the impacts of fluvial erosion, frost heaving/freezing-thaw process of rivers in seasonal frozen regions. *Heliyon*, v. 10, n. 17, p. e37448, 15 set. 2024.