

# ENGENHARIA NATURAL PARA ESTABILIZAÇÃO HIDRÁULICA DO RIO PARDINHO EM SANTA CRUZ DO SUL - RS

*Paula Letícia Wolff Kettenhuber*  
*Junior Joel Dewes*  
*Fabrcio Jaques Sutili*

No Brasil, a utilização das técnicas preconizadas pela Engenharia Natural é relativamente recente, o que justifica a grande demanda por pesquisas na área e, principalmente, a divulgação de estudos de caso da aplicação dessas técnicas em obras realizadas no país. Sendo assim, será descrita, a título de exemplo, a elaboração do projeto, a execução e evolução temporal de uma obra de estabilização hidráulica realizada em trecho de 80 metros da margem esquerda do Rio Pardinho, a jusante da barragem do Lago Dourado, no município de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul. O projeto foi realizado pelo Centro de Pesquisa Florestal e Ambiental (CEPEFLORA) da Universidade Federal de Santa Maria para a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), no ano de 2010.

## Introdução

Os cursos de água apresentam, com frequência, problemas decorrentes do seu comportamento processual natural, que, por vezes, são agravados por ações antrópicas, ou delas decorrem. Um dos problemas recorrentes nas margens dos cursos de água é a corrosão, que se verifica principalmente pela retirada da base de apoio do talude, devido à velocidade do fluxo, ao turbilhonamento e à ação das ondas junto à faixa que acompanha o nível normal da água.<sup>1</sup>

Tais problemas, que representam tanto perdas econômicas como situações de risco, podem, com o devido conhecimento, ser mitigados ou mesmo solucionados pela Engenharia Natural.<sup>2</sup>

A estabilização hidráulica é entendida como um dos campos de aplicação das técnicas de Engenharia Natural, que compreende os trabalhos de construção de estruturas físicas com materiais inertes, em combinação com material vegetal vivo, com vistas à estabilização e/ou recomposição das margens de corpos de água naturais ou artificiais, como rios, córregos, lagos, barragens, entre outros.

A seleção das técnicas a serem utilizadas nas obras é função de diferentes fatores, entre eles, o tipo de problema que ocorre no local, a inclinação do talude, a disponibilidade de plantas matrizes nos locais próximos, as características da vegetação, e a dinâmica do curso de água, incluindo frequência, volume e velocidade das vazões.

Este artigo tem o objetivo de descrever a execução de uma obra de estabilização hidráulica realizada em um trecho instável da margem esquerda do Rio Pardinho a jusante da barragem do Lago Dourado, no município de Santa Cruz do Sul (RS), desde a elaboração do seu projeto até os resultados atingidos após alguns anos.<sup>3</sup>

### Caracterização do problema

A área de estudo está localizada no município de Santa Cruz do Sul, na região central do estado do Rio Grande do Sul. A obra foi realizada em um trecho de aproximadamente 100m na margem esquerda do Rio Pardinho, a jusante da barragem de captação de água da CORSAN (figura 1).

Esta margem apresentava sérios problemas de instabilidade, como se observa na figura 2A, resultantes do desvio do eixo do curso de água para o raio externo levemente curvo, neste local, pela construção de uma nova adutora a montante.

<sup>1</sup> DURLO, M. & SUTILI, F. *Bioengenharia – Manejo biotécnico de cursos de água*. 3ª. ed. Santa Maria: Pallotti, 2014.

<sup>2</sup> SUTILI, F. J. *Bioengenharia de solos no âmbito fluvial do Sul do Brasil – Espécies aptas, suas propriedades vegetativo-mecânicas e emprego na prática*. 94f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Rural de Viena, Viena, 2007.

<sup>3</sup> SUTILI, F. J.; CADONÁ, S. C. & HERPICH, M. A. *Estabilização Biotécnica no Rio Pardinho. Memorial Descritivo de Execução*. Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2010.

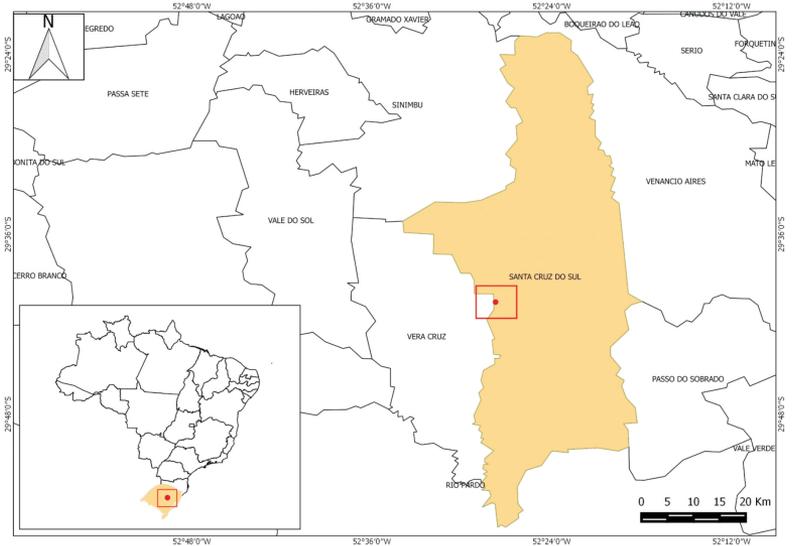


Figura 1: Mapa de localização da Barragem do Lago Dourado às margens do Rio Pardinho, no município de Santa Cruz do Sul - RS.

O desvio ocasionou um processo contínuo de corrosão, desconfinamento, deslizamento/desmoronamento e transporte de material devido à ação do fluxo de água no talude.

A presença de ângulos acentuados e a elevada altura do talude, de aproximadamente 7m, não permitiam o estabelecimento de vegetação espontânea (figura 2B). Por outro lado, a vegetação que ocupava o topo do talude, árvores de grande porte, originavam sobrecarga vertical, deslocando o centro de gravidade do talude para posições geotecnicamente menos estáveis, além de captar e transmitir a força do vento ao talude, criando um efeito de alavanca que seguramente agravava a dinâmica de desconfinamento, desencadeada pela correnteza do curso de água (figura 2C).

### Soluções construtivas

Com o intuito de buscar uma solução para estes problemas, foi elaborado um projeto com técnicas de Engenharia Natural capazes de conter os processos de erosão, desconfinamento e instabilização que ocorriam no local. Para dimensionar a intervenção, realizou-se primeiramente um levantamento topográfico (figura 3), obtendo-se deste modo as curvas de níveis do trecho a ser estabilizado, conforme figuras 4 e 5. Também foi observada ocorrência local de espécies potencialmente úteis; nesse sentido, foram

encontradas: *Terminalia australis* (sarandi-amarelo), *Salix humboldtiana* (salso), *Schinus molle* (aroeira-salso), *Schinus terebinthifolius* (aroeira-mansa), *Pouteria salicifolia* (sarandi-mata-olho), *Phyllanthus sellowianus* (sarandi-branco), *Enterolobium contortisiliquum* (timbaúva).

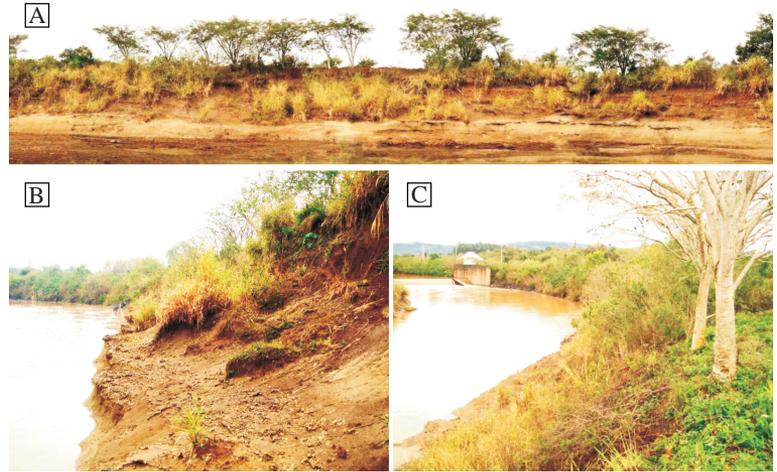


Figura 2: Caracterização dos problemas de instabilidade do local. A) Vista frontal do trecho a ser estabilizado. B) Vista lateral do talude. C) Presença de árvores de grande porte no topo do talude.

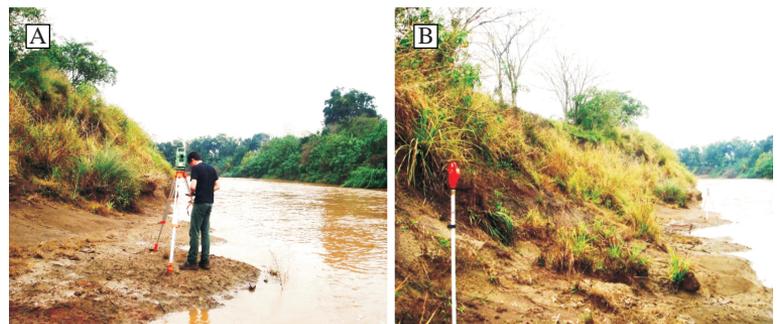


Figura 3: A, B) Levantamento topográfico do local.

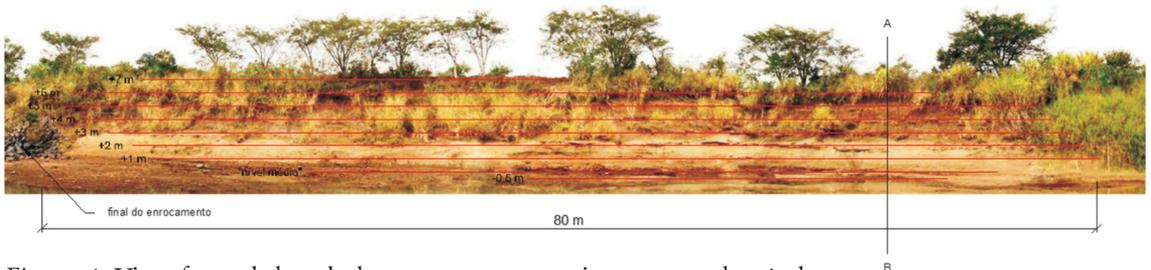


Figura 4: Vista frontal do talude com suas respectivas curvas de nível.

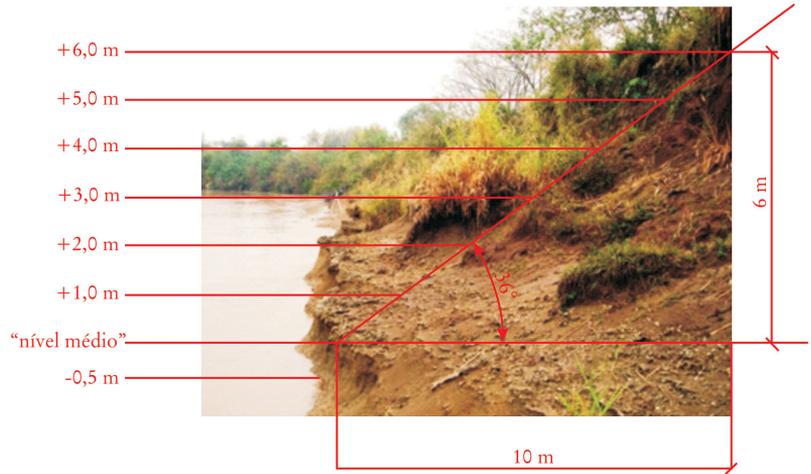


Figura 5: Vista em corte A-B do talude com suas respectivas curvas de nível.

A proposta geral para estabilização deste talude previa a utilização de obras longitudinais ao longo do trecho, visto que tais obras (estruturas construídas ao longo do curso de água) têm, como principais funções, reconstruir, proteger e estabilizar as margens. Isso pode ser conseguido tanto com o revestimento vegetal e/ou físico, buscando conferir às margens (taludes) maior resistência à força da água.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> DURLO, M. & SUTILI, F. *Op. cit.*

Como, no local, os efeitos da corrosão e dos deslizamentos evoluíram a tal ponto que o desenvolvimento da vegetação se tornou difícil, era necessário promover o estabelecimento da vegetação de cobertura a fim de se evitar a erosão superficial, além de alterar a inclinação do talude para garantir a estabilidade do mesmo. Para tal, projetaram-se intervenções de Engenharia Natural que combinassem o uso de materiais construtivos inertes com plantas, sendo que os materiais inertes atuam como estabilizadores do talude na fase inicial, permitindo o estabelecimento e desenvolvimento da vegetação, até que estas, através de suas raízes, sejam capazes de realizar esta função.

As soluções construtivas propostas para a primeira fase da obra, realizada durante o mês de abril de 2010, foram: enrocamento vegetado, banquetas de arbustos, ancoragem de salsos (*Salix humboldtiana*) e timbaúvas (*Enterolobium contortisiliquum*), retaludamento da parte superior da encosta, e por fim o plantio de mudas de *Calliandra brevipes* e estacas de *Phyllanthus sellowianus*, conforme apresentado na figura 6. A segunda fase da obra consistiu em uma medida vegetativa complementar, com o plantio de mudas nativas previsto para o início da primavera.

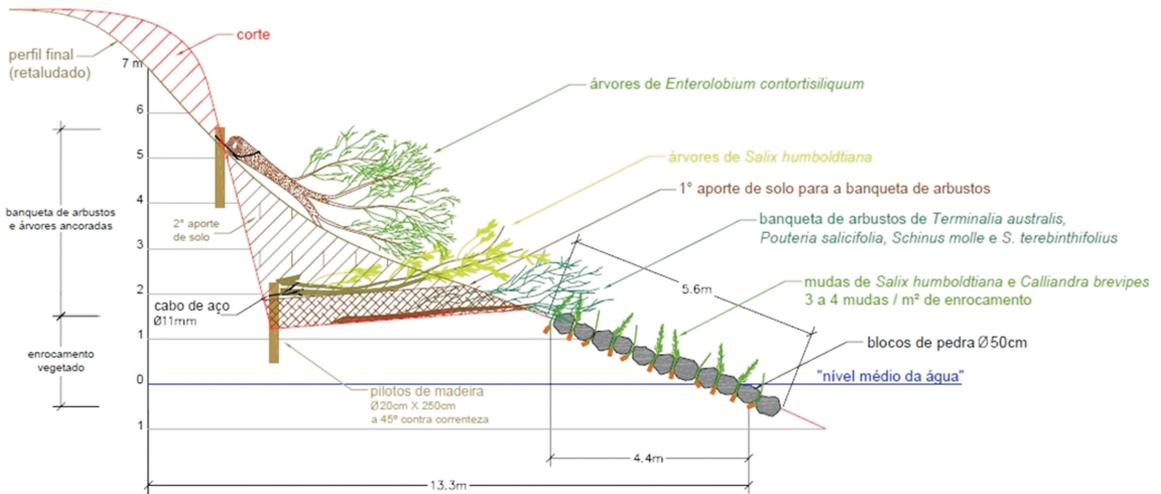


Figura 6: Vista em corte das soluções construtivas propostas na primeira fase da obra.

## Enrocamento vegetado

O enrocamento vegetado corresponde a uma obra de defesa longitudinal contra a erosão da base da encosta da margem. A utilização de plantas nesta intervenção tem como objetivo melhorar as condições do local, favorecendo a colonização por outras espécies. Melhoram, igualmente, as características mecânicas do solo, integrando as rochas aplicadas e provocando o aumento da rugosidade hidráulica, o que reduz a velocidade da água e promove o depósito de sedimentos entre e sobre as rochas.

Para implementação desta técnica, primeiramente, foi necessário retaludar a base da margem, diminuindo-se sua inclinação para um ângulo entre 20 e 25° (figura 7A). O enrocamento foi instalado em toda a extensão da margem, iniciando-se um pouco abaixo do “nível médio”, em uma faixa de 5 a 6m do talude. Para cobrir todo o trecho de 450m<sup>2</sup>, foram utilizados cerca de 200m<sup>3</sup> de blocos de basalto com diâmetros variando entre 20 e 85cm (figura 7B).

À medida que o enrocamento estava sendo instalado, o mesmo foi vegetado com 900 mudas e 500 estacas das espécies *Calliandra brevipes* e *Salix humboldtiana*, respectivamente, com um ano de idade, a partir do nível médio do curso de água.

As mudas de *Calliandra brevipes* foram produzidas a partir de sementes e apresentavam aproximadamente 1m de altura (figura 7C). Já as mudas de *Salix humboldtiana*, provenientes de estaquia, apresentavam altura entre 1 e 2m (figura 7D). Essas, após serem seccionadas ao meio,

tiveram a parte superior plantada, como estaca, junto à linha d'água.

A densidade de plantio utilizada foi de 3 mudas/m<sup>2</sup>, dispostas entre os blocos de rocha de modo que ficassem acomodadas no sentido da correnteza. Para abertura das covas, utilizaram-se enxadas de mão e cavadeiras. Para facilitar o plantio, alguns blocos foram afastados e posteriormente recolocados de forma a fixar e proteger as mudas (figuras 7E e 7F).

As mudas foram dispostas em linha, ao longo de toda a porção superior do enrocamento. Sempre que necessário, as mudas e estacas foram regadas com auxílio de baldes e caminhão pipa.



Figura 7: Execução do enrocamento vegetado. A) Retaludamento da base. B) Colocação dos blocos de basalto em toda extensão da base do talude. C) Mudanças de *Calliandra brevipes* utilizadas no enrocamento. D) Mudanças de *Salix humboldtiana* utilizadas no enrocamento. E, F) Plantio de mudas entre os blocos de rocha.

## Banqueta de arbustos

As banquetas são degraus escavados transversalmente à inclinação do talude, onde é feito o plantio de estacas com capacidade de propagação vegetativa e/ou mudas, cobertas com solo. O plantio em banquetas funciona como obstáculo ao transporte de material fino dos solos e também pode ser utilizado como elemento de disciplinamento das águas superficiais.

No local, esta técnica ganhou utilização logo acima do enrocamento vegetado. O talude, após ser remodelado, criando uma banquetta com 5 metros de largura, recebeu arbustos das espécies *Pouteria salicifolia*, *Schinus molle*, *Schinus terebinthifolius* e *Terminalia australis* (figura 8A). Os exemplares destas espécies ocorriam naturalmente nas proximidades da obra, e, portanto, foram utilizados pela facilidade de obtenção e de propagação vegetativa. Posteriormente foram recobertos por uma camada de solo, com o intuito de facilitar sua propagação vegetativa (figura 8B).



Figura 8: Execução da banquetta de arbustos. A) Colocação dos arbustos sobre a banquetta. B) Aporte de solo sobre os arbustos.

## Ancoragem de árvores inteiras

Esta técnica consiste na ancoragem de árvores inteiras fixadas a cabos de aço e prumos de madeira no declive da encosta, promovendo sua proteção superficial imediata (figura 9). As árvores criam estruturas de retenção junto às margens, aumentando a rugosidade hidráulica, o que conduz à diminuição da velocidade da água, favorecendo a deposição de material no local e assim diminuindo os processos erosivos.

Outra vantagem desta técnica é a facilidade de obtenção do material, pois utilizam-se árvores que ocorrem naturalmente no local. Na obra em questão, optou-se por utilizar as espécies *Salix humboldtiana* e *Enterolobium*

*contortisiliquum*, uma vez que a primeira foi encontrada em abundância ao longo do Rio Pardinho e já se conhecia seu potencial de propagação vegetativa; a segunda, além de ocorrer no próprio local, na crista do talude, necessitava ser removida pelos efeitos negativos que causava ao mesmo.

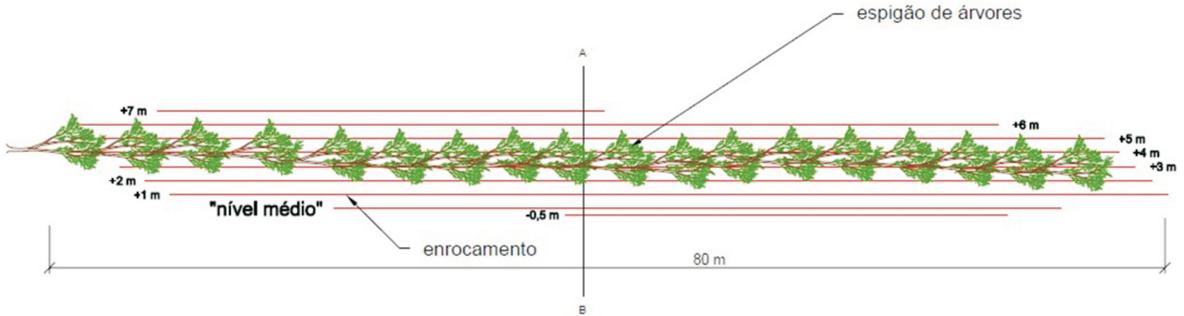


Figura 9: Ancoragem de árvores inteiras no declive da encosta.

### Ancoragem de *Salix humboldtiana*

Sobre a banqueta de arbustos formou-se um segundo patamar onde foram ancoradas árvores da espécie *Salix humboldtiana*, conhecida popularmente como salso. Para tanto, ao longo da margem em tratamento, foram cravados 22 mourões de madeira (eucalipto) de 2,5m de comprimento e diâmetro de  $\pm 17$ cm. Estes foram instalados com o auxílio de uma escavadeira giratória, à profundidade de 1,5m, em ângulo de 45° sentido montante e interligados por cabo de aço de 11mm, ao longo da extensão do talude (figuras 10A e 10B).

As árvores de salsos foram coletadas da própria margem do Rio Pardinho, conforme Licença Ambiental nº 16/2010 da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Santa Cruz do Sul. Utilizaram-se apenas árvores instáveis e caídas que, após serem coletadas, foram transportadas para o local da obra. Tais árvores foram fixadas ao cabo de aço principal por meio de espigas menores (cortadas com aparelho de solda) e com grampos de ½ polegada (figuras 10C, 10D e 10E). Um segundo aporte de solo recobriu as árvores ancoradas (figura 10F).

### Ancoragem de *Enterolobium contortisiliquum*

Sobre o novo aporte de solo, formou-se uma segunda linha de árvores, agora da espécie *Enterolobium contortisiliquum* (timbaúvas), retiradas (conforme licença ambiental) do topo do talude (figuras 11A e 11B) e fixadas a 15 prumos de madeira (figuras 11C e 11D).

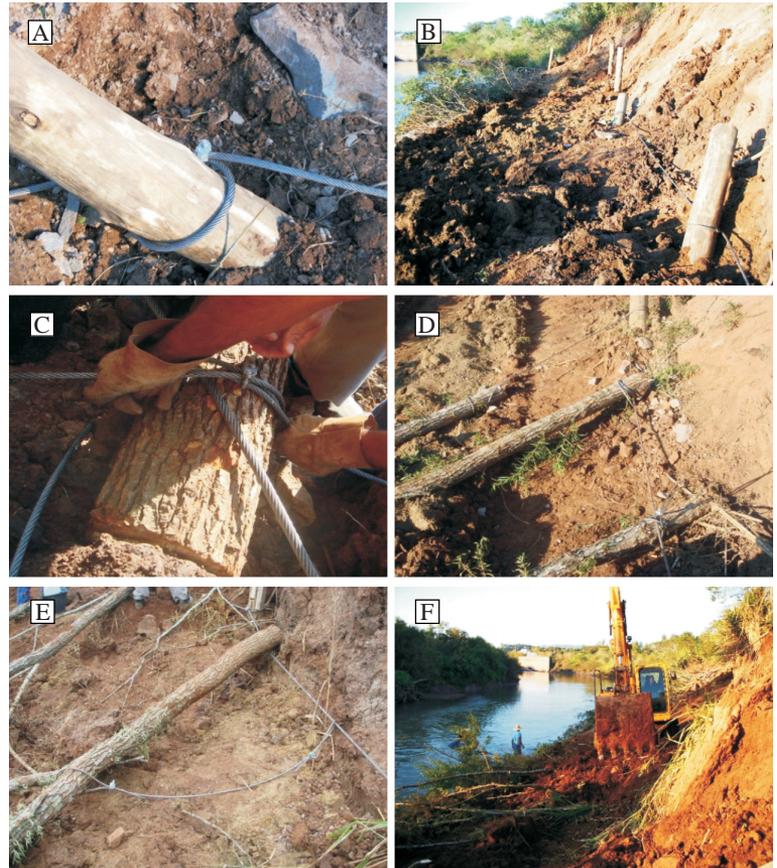


Figura 10: Execução da ancoragem de árvores de *Salix humboldtiana*. A, B) Pilotos de madeira cravados ao longo do talude interligados por cabo de aço. C, D, E) Árvores de *Salix humboldtiana* sendo fixadas ao cabo de aço principal por meio de espigas e grampos. F) Aporte de solo para recobrir as árvores ancoradas.

As timbaúvas de maior porte foram seccionadas, para melhor acomodá-las no sentido da correnteza. As árvores não receberam aporte de solo, pois não existia expectativa de sua propagação vegetativa.

### Correção do ângulo do talude

Subsequentemente às demais intervenções descritas, foi realizado, com o auxílio de uma escavadeira, o chanframento do topo do talude, diminuindo-se, assim, a inclinação do “nível superior”, ao longo de toda sua extensão (figura 12). Tal medida de modelação da crista teve como objetivo estabilizar o talude e propiciar o desenvolvimento da vegetação espontânea e plantada no local.

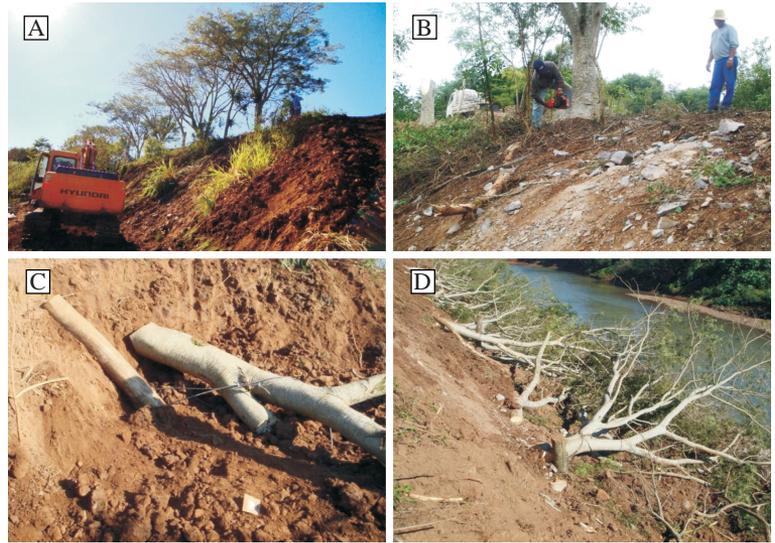


Figura 11: Execução da ancoragem de árvores de *Enterolobium contortisiliquum*. A) Árvores da espécie *E. contortisiliquum* presentes na crista do talude. B) Execução do corte das árvores. C, D) Árvores de *E. contortisiliquum* fixadas aos prumos de madeira.

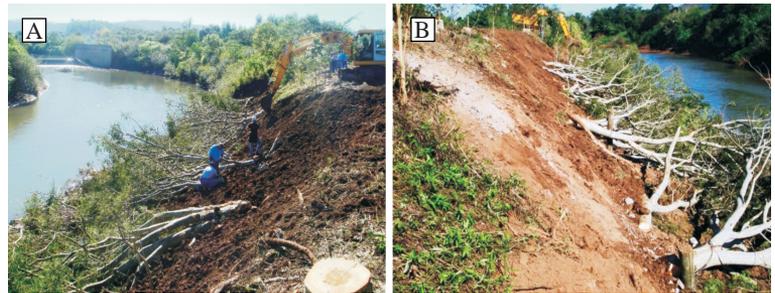


Figura 12: A, B) Correção do ângulo do topo do talude.

### Plantio de mudas e estacas

Por fim, junto à ancoragem de timbaúvas, foram plantadas 100 mudas da espécie *Calliandra brevipes* e 100 estacas da espécie *Phyllanthus sellowianus* coletadas no município de Sinimbu (RS).

### Segunda intervenção vegetativa

Após a conclusão da primeira fase da obra (figura 13A), durante os meses de inverno do ano de 2010, ocorreram eventos de precipitação intensa, que elevaram o nível de água até a cota mais alta do talude, cobrindo completamente a obra. Naquela ocasião, a força da água foi suficiente para remover o espigão de timbaúvas (*Enterolobium*

*contortisiliquum*) preso superficialmente à porção média do talude (figura 13B).

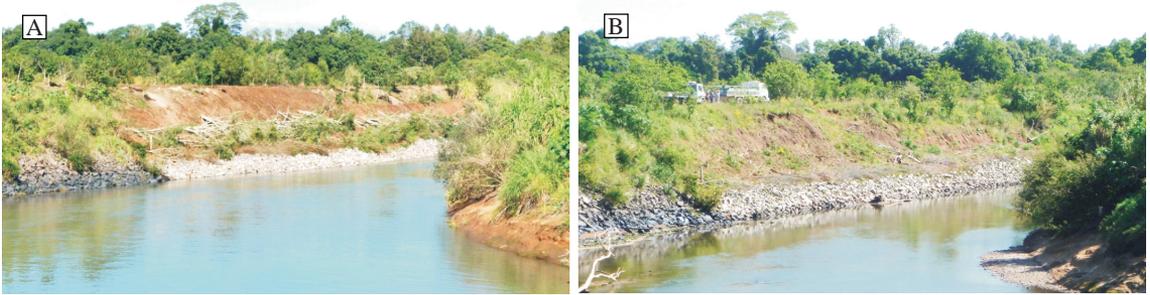


Figura 13: A) Vista geral do talude após a execução da primeira fase da obra (Abril/2010). B) Vista geral do talude após os eventos de enchente que removeram o espigão de árvores de *E. contortisiliquum* (Agosto/2010).

As demais intervenções vegetativas e o enrocamento vegetado sofreram apenas pequenos danos, resistindo bem ao período de inundação.

No projeto havia a previsão de uma segunda intervenção vegetativa no início da primavera daquele ano, já que a primeira fase da obra fora implantada no início da estação de inverno (mês de abril/2010), prevendo-se que as plantas apresentariam baixo desenvolvimento no período. Assim, esta medida de caráter complementar mostrou-se ainda mais necessária após os eventos de fortes precipitações ocorridos no inverno. A intervenção vegetativa complementar foi realizada na primavera do mesmo ano (mês de outubro/2010), quando foram plantadas 1.550 mudas de espécies nativas, com vistas a aumentar a diversidade biológica do local (figura 14).

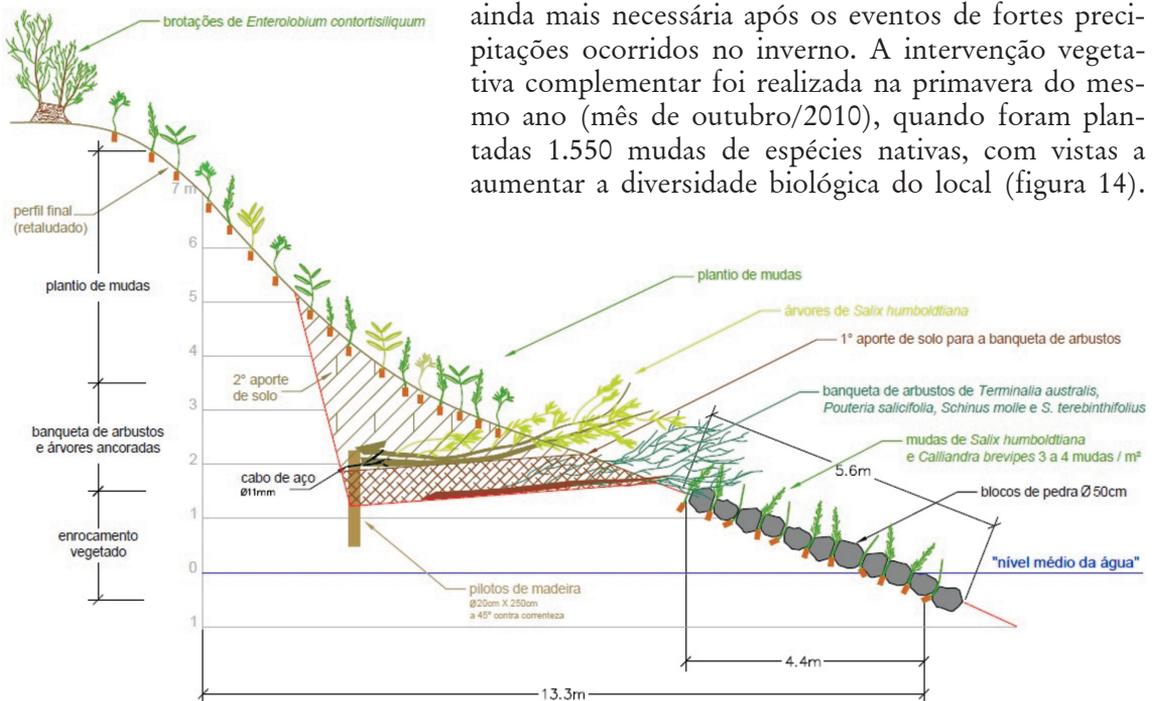


Figura 14: Vista em corte da segunda intervenção vegetativa.

## Resultados

Esta obra de estabilização hidráulica no Rio Pardinho vem sendo monitorada com o objetivo de avaliar a estabilidade do talude, bem como a sobrevivência e desenvolvimento da vegetação no local.

Como previsto, a implantação no início da estação de inverno gerou a necessidade de uma medida vegetativa complementar, realizada na primavera do mesmo ano. Esta foi ainda mais necessária pelos eventos de enchentes que ocorreram durante o inverno daquele ano. Os mínimos prejuízos verificados evidenciaram que, apesar dos riscos, pode-se obter sucesso em intervenções implantadas no início do inverno, desde que planejadas para resistirem ao período de cheias, garantindo a manutenção da vegetação implantada.

Ainda no final do ano de 2010, já era visível o predomínio de áreas de depósito de sedimentos, na porção enrocada e entre a banqueteta de arbustos (figura 15), atestando a estabilidade do local dada pelo efeito de aumento da rugosidade hidráulica e consequente diminuição da velocidade da água e da tensão de erosão no local.



Figura 15: A, B) Depósito de sedimentos entre e sobre as rochas do enrocamento vegetado. C, D) Depósito de sedimentos entre os arbustos na banqueteta.

O material vegetal levado a campo em abril de 2010 iniciou sua brotação (como previsto) somente no final de

agosto do mesmo ano. As brotações foram atacadas por formigas cortadeiras, controladas imediatamente com aplicação de iscas formicidas. Após o controle, as espécies *Salix humboldtiana*, *Terminalia australis*, *Morus sp.*, *Schinus terebinthifolius* e *Phyllanthus sellowianus*, retomaram vigorosamente a brotação (figura 16). O mesmo ocorreu com as cepas de *Enterolobium contortisiliquum* e de todos os indivíduos das outras espécies reduzidas ao toco para terem sua porção aérea utilizadas na confecção da banquetta de arbustos. Mesmo espécies que não se desenvolveram da forma esperada na banquetta, como o sarandi-mata-olho (*Pouteria salicifolia*) e aroeira-mansa (*Schinus molle*) brotaram vigorosamente nas cepas originais.



Figura 16: Espécies com brotações no final do inverno. A) *Salix humboldtiana*. B) *Schinus terebinthifolius*. C) *Phyllanthus sellowianus*. D) *Terminalia australis*.

<sup>5</sup> SUTILI, F. J.; CADONÁ, S. C. & HERPICH, M. A. *Estabilização Biotécnica no Rio Pardinho. Vegetação – 1ª avaliação*, Dez. 2010. Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2010.

<sup>6</sup> STEPHAN, H. *A pull out test of Phyllanthus sellowianus and Sebastiania schottiana and development of soil engineering constructions in southern Brazil*. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Natural). Universidade Rural de Viena, Viena, 2013.

Para melhor avaliar a sobrevivência e o desenvolvimento da vegetação, foram demarcadas parcelas ao longo do talude, totalizando 20% da área total. A avaliação foi realizada separadamente para cada estrutura da obra e também para a área total, no final do ano de 2010<sup>5</sup> e repetida no ano de 2013<sup>6</sup>.

### Enrocamento vegetado

Conforme a primeira avaliação no enrocamento vegetado, constatou-se que quatro espécies colonizavam o local:

*Calliandra brevipes* (56% dos indivíduos), *Salix humboldtiana* (43%), algumas plantas da espécie *Machaerium paraguariense* (0,5%) e de *Phyllanthus sellowianus* (0,5%) (figura 17A). Estas espécies, em conjunto, constituem uma densidade média de 2 mudas por metro quadrado de enrocamento. Com uma densidade inicial de 3 mudas por metro quadrado, em 8 meses, 34% das mudas foram perdidas. A perda ocorreu principalmente na porção mais próxima ao nível normal da água, devido à morte ocasionada por longos períodos de submersão ou pelo arranquio e arraste das mudas pela força da água.

Na segunda avaliação realizada no ano de 2013, foram registrados 1.631 indivíduos das espécies *Calliandra brevipes* (80% dos indivíduos), *Phyllanthus sellowianus* (10%), *Salix humboldtiana* (5%) e *Terminalia australis* (5%), como pode ser observado na figura 17B. A espécie *Machaerium paraguariense* não foi mais encontrada no local. Assim, após 2 anos da realização da obra, a densidade de mudas por metro quadrado passou de 3 para 3,6 mudas/m<sup>2</sup>, apresentando um aumento de 16,5% no número de indivíduos no local.

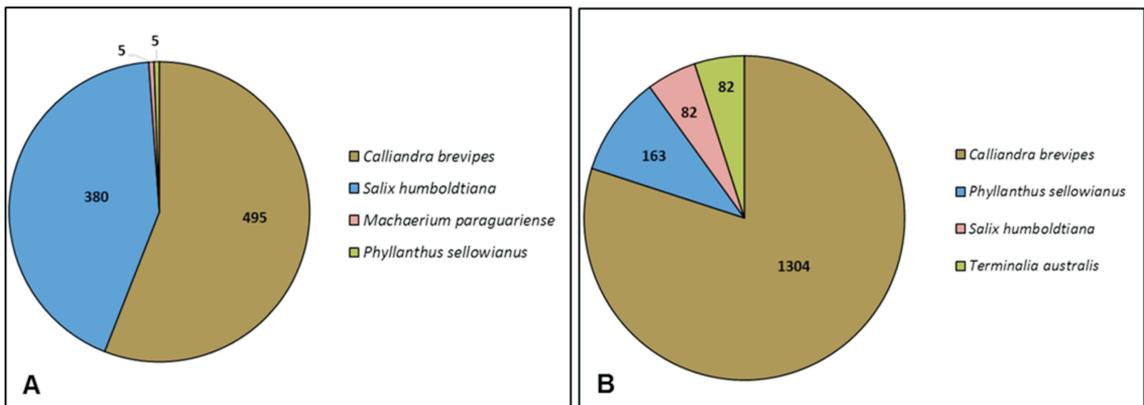


Figura 17: A) Número de indivíduos por espécie presentes no enrocamento vegetado no ano de 2010. B) Número de indivíduos por espécie presentes no enrocamento vegetado no ano de 2013.

Na parte inferior do enrocamento, mais próximo do nível médio da água, as espécies predominantes foram *Calliandra brevipes* e *Phyllanthus sellowianus*, além de alguns indivíduos de *Salix humboldtiana*, o que atesta uma resistência maior à ação hídrica destas espécies e sua aptidão de crescer junto à linha da água, em especial a espécie *P. sellowianus*. Na porção superior do enrocamento havia forte predominância da espécie *C. brevipes*.

## Banqueta de arbustos e ancoragem de *Salix humboldtiana*

Na avaliação realizada no final de 2010, foi possível observar que as brotações provenientes da banquetta de arbustos e dos salseiros ancorados concentraram-se na primeira metade da obra, sentido montante-jusante, e ao final desta. Conforme previsto, a brotação de salso (*Salix humboldtiana*) foi a mais presente (63,5%) e concentrou-se na porção central do trecho em tratamento. *Phyllanthus sellowianus* (14,7%) aparece na porção inicial no sentido montante-jusante, próximo à linha da água (devido ao plantio de alguns ramos e estacas neste local); *Schinus terebinthifolius* apresentou 12,7% dos indivíduos; *Morus* sp., 6,7%, provenientes de um único exemplar utilizado na banquetta de arbustos; *Terminalia australis* representou 1,4% e *Schinus molle* 1,4% (figura 18A).

Essa distribuição desuniforme das brotações das diferentes espécies ocorre devido ao fato de cada porção da banquetta de arbustos ter sido formada predominantemente por uma ou outra espécie, sendo que as faixas que apresentaram menor percentagem de brotação eram formadas especialmente pelas espécies *Schinus molle*, *Pouteria salicifolia* e *Schinus terebinthifolius*.

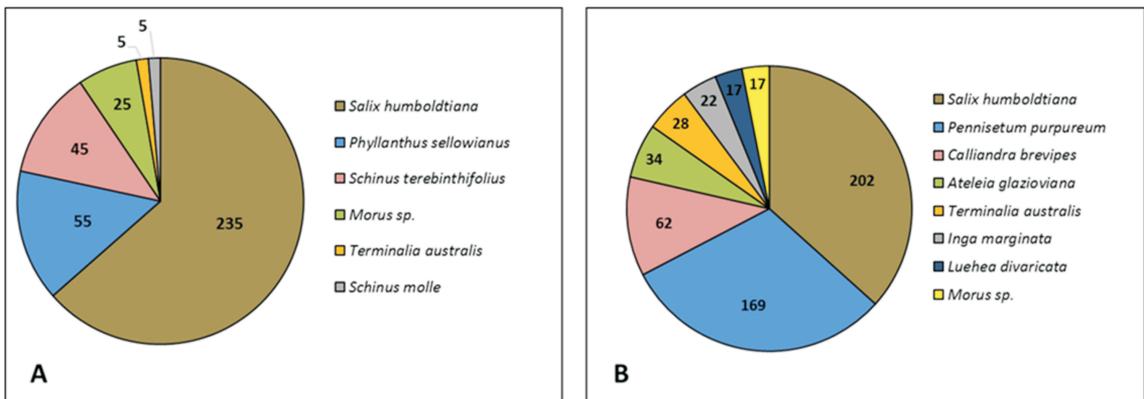


Figura 18: A) Número de indivíduos por espécie presentes na banquetta de arbustos e salsos ancorados no ano de 2010. B) Número de indivíduos por espécie presentes na banquetta de arbustos e salsos ancorados no ano de 2013.

O levantamento da vegetação após dois anos (2013) mostrou maior diversidade de espécies no local; no entanto, o número de indivíduos de *Salix humboldtiana* diminuiu para uma proporção de 37%, estes ainda concentrados na porção central do talude. A espécie *C. brevipes* correspon-

deu a 11,2% dos indivíduos encontrados no local, apresentando grande capacidade de disseminação na área. A vegetação espontânea, que surgiu ao longo do tempo em toda extensão do talude, era composta principalmente por espécies da família Poaceae, destacando-se *Pennisetum purpureum* com 31% dos indivíduos na área. Também foram encontradas as espécies *Ateleia glazioviana* (6,1%), *Terminalia australis* (5%), *Inga marginata* (4%), *Luebea divaricata* (2,8%) e *Morus nigra* (2,8%) (figura 18B). As espécies *P. sellowianus*, *S. molle* e *S. terebinthifolius*, por sua vez, não foram mais observadas no local.

## Plantio de mudas

As mudas levadas a campo no início da primavera de 2010 tiveram mortalidade de apenas 2,6%, conforme levantamento realizado no final do mesmo ano. Neste levantamento foram contabilizadas 273 plantas na parte superior do talude. Esse número diminuiu para 127 plantas em 2013, representando uma mortalidade de 54,6% do total de indivíduos plantados.

Apesar da alta mortalidade das mudas, pode-se verificar uma boa taxa de cobertura do solo, de aproximadamente 41%, a qual se deve à presença da vegetação espontânea na porção superior do talude, principalmente da espécie *P. purpureum*. As espécies encontradas na porção superior do talude nos anos de 2010 e 2013, e suas respectivas quantidades, destacando-se as espécies que surgiram espontaneamente na área entre o primeiro e o segundo levantamento, podem ser visualizadas na tabela 1.

A distribuição das espécies encontradas por família botânica em todas as intervenções executadas no talude, no ano de 2013, estão representadas na figura 19. A grande ocorrência de *Calliandra brevipes* por todo o trecho faz da família Fabaceae a mais importante, seguida da família Salicaceae, à qual pertence a espécie *Salix humboldtiana*, e da família Phyllanthaceae, à qual pertence a espécie *Phyllanthus sellowianus*. Estas são, portanto, as espécies que melhor suportaram as condições adversas do local, como a força da correnteza, a submersão temporária e o aterramento parcial.

Como avaliação final da obra, apresenta-se a evolução do desenvolvimento da vegetação ao longo do tempo. A figura 20 apresenta a evolução temporal da obra e a figura 21 a mesma margem dois anos depois, estabilizada e com densa vegetação.

Tabela 1: Número de indivíduos por espécie na porção superior do talude (ver figura 14) nos anos 2010 e 2013. (em verde, espécies de colonização espontânea)

Família	Espécie	Nome comum	2010	2013
			Nº Ind.	Nº Ind.
Fabaceae	<i>Calliandra brevipes</i>	Calliandra-rosa	48	24
	<i>Ateleia glazioviana</i>	Timbó	30	19
	<i>Bauhinia forficata</i>	Pata-de-vaca	22	9
	<i>Machaerium paraguariense</i>	Farinha-seca	17	-
	<i>Inga marginata</i>	Ingá-feijão	11	12
	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Timbaúva	-	1
	<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	Rabo-de-bugio	-	3
	<i>Inga sessilis</i>	Ingá-macaco	4	-
Salicaceae	<i>Parapiptadenia rigida</i>	Angico	4	4
	<i>Salix humboldtiana</i>	Salso	12	2
Phyllanthaceae	<i>Banara parviflora</i>	Olho-de-pomba	3	-
	<i>Phyllanthus sellowianus</i>	Sarandi-branco	4	-
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Aroeira-vermelha	8	4
	<i>Schinus molle</i>	Aroeira-salsa	3	3
Asteraceae	<i>Baccharis dracunculifolia</i>	Vassoura	-	8
Myrtaceae	<i>Eugenia myrcianthes</i>	Pessegueiro-do-mato	14	7
	<i>Acca sellowiana</i>	Gioaba-serrana	11	2
	<i>Myrcianthes pungens</i>	Guabiju	8	-
	<i>Psidium cattleianum</i>	Aracá	7	3
	<i>Eugenia involucreta</i>	Cerejeira	5	-
	<i>Eugenia uniflora</i>	Pitangueira	4	1
	<i>Eugenia rostrifolia</i>	Batinga	3	-
Sapindaceae	<i>Calyptanthus grandifolia</i>	Guamirim	1	1
	<i>Cupania vernalis</i>	Camboatá-vermelho	13	5
	<i>Allophylus edulis</i>	Chal-chal	12	3
Rosaceae	<i>Matayba elaeagnoides</i>	Camboatá-branco	3	-
Rosaceae	<i>Prunus myrtifolia</i>	Pessegueiro-do-mato	-	8
Tiliaceae	<i>Luebea divaricata</i>	Açoita-cavalo	5	4
Combretaceae	<i>Terminalia australis</i>	Amarilho	-	1
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum argentinum</i>	Cocão	4	1
Lauraceae	<i>Nectandra megapotamica</i>	Canela-preta	-	1
	<i>Aiouea saligna</i>	Canela-sebo	2	-
Aquifoliaceae	<i>Ilex paraguariensis</i>	Erva-mate	-	1
Bromeliaceae	<i>Bromelia balansae</i>	Caraguatá	-	1
Zingiberaceae	<i>Hedychium coronarium</i>	Cardamon	-	1
Meliaceae	<i>Trichilia clausenii</i>	Catigá-vermelho	4	-
	<i>Trichilia elegans</i>	Catigá-vermelho	2	-
Lythraceae	<i>Lafoensia pacari</i>	Dedaleiro	3	-
Melastomataceae	<i>Tibouchina mutabilis</i>	Manacá	3	-
Anonaceae	<i>Annona cacans</i>	Araticum	2	-
Boraginaceae	<i>Cordia ecalyculata</i>	Guaçatumba	1	-
Poaceae	<i>Pennisetum purpureum</i>	Capim-elefante	-	130
Total geral			273	259

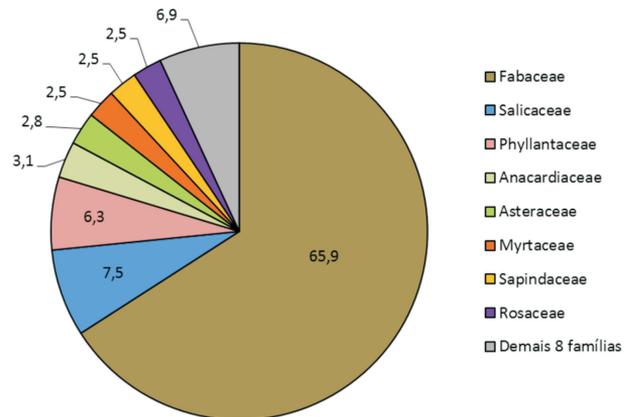


Figura 19: Distribuição por família botânica das espécies encontradas em todas as intervenções executadas no talude, na segunda avaliação no ano de 2013.

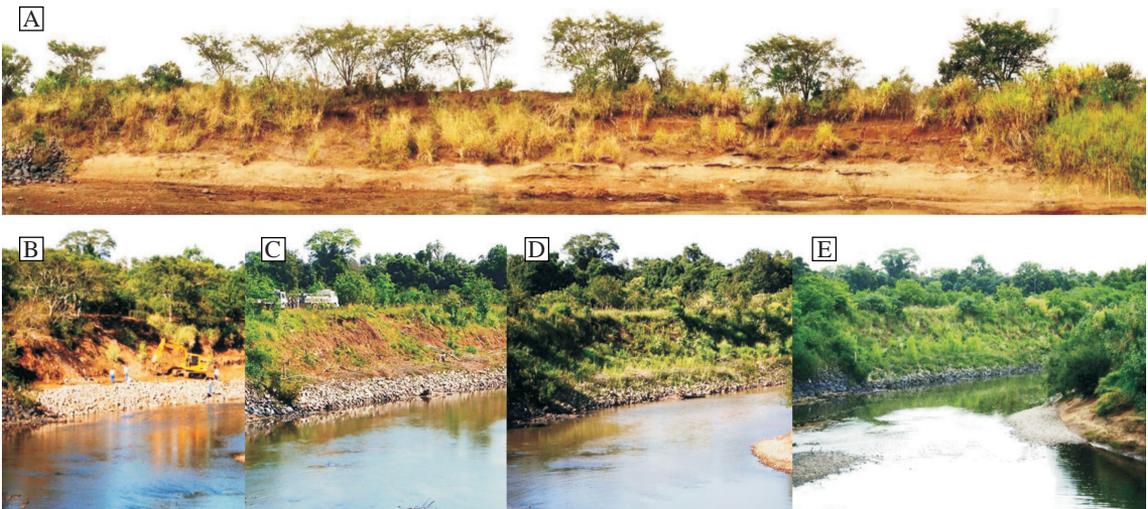


Figura 20: Evolução da obra de Engenharia Natural ao longo do tempo. A) Vista do talude fluvial a ser estabilizado (verão/2010). B) Execução da obra (abril/2010). C) Vista do talude fluvial após a execução da obra e eventos de fortes precipitações (inverno/2010). D) Vista do talude fluvial na primeira avaliação (final de 2010). E) Vista do talude fluvial na segunda avaliação (início de 2013).

## Considerações finais

A Engenharia Natural afirma-se como importante ferramenta técnica para a estabilização e contenção de processos erosivos em ambiente fluvial. A correta aplicação das técnicas construtivas voltadas às características locais do problema garante um controle eficiente das forças ambientais instabilizantes e permite o restabelecimento da vegetação nativa, trazendo inúmeros benefícios aos ambientes onde são implantadas.



*Figura 21:* Vista do talude fluvial dois anos após a execução da intervenção, estabilizado e com presença de densa vegetação.

**Paula Letícia Wolff Kettenhuber** é graduada em Engenharia Florestal, mestre em Engenharia Florestal e doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

[paulakettenhuber@gmail.com](mailto:paulakettenhuber@gmail.com)

**Júnior Joel Dewes** é graduado em Engenharia Florestal e mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

[juniordewes2011@gmail.com](mailto:juniordewes2011@gmail.com)

**Fabrício Jaques Sutili** é graduado em Engenharia Florestal, doutor em Engenharia Natural pela Universidade Rural de Viena e professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

[fjsutili@gmail.com](mailto:fjsutili@gmail.com)

O enrocamento vegetado proporcionou a estabilização da base do talude, com aumento da rugosidade hidráulica na margem do rio e conseqüente diminuição da velocidade e força da água sobre o mesmo, além de abrigar e promover o desenvolvimento da vegetação junto à linha da água. A utilização de plantas, principalmente nesta técnica, possui a vantagem de aumentar ainda mais a estabilidade das estruturas inertes (em pedra) dimensionadas.

Da mesma forma, as estruturas projetadas para a porção superior do talude se mostraram eficientes pelo fato de promoverem o restabelecimento e o desenvolvimento da vegetação nativa, refletindo-se em aumento da diversidade florística e faunística. Tais transformações proporcionaram rápida cobertura do solo e, em conseqüência, diminuição dos processos erosivos superficiais.

Os projetos realizados com base nos princípios da Engenharia Natural visam trazer tanto ganhos técnicos por meio da combinação de estruturas vivas e inertes, quanto benefícios estético-paisagísticos, através do rápido crescimento da vegetação e da inserção da obra na fisionomia paisagística local. Além disso, tais intervenções são compreendidas como um sistema construtivo vivo, sendo esperado que a eficiência da obra aumente com o passar do tempo.