

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CCR – CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**RECUPERAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM TRECHO
DE CURSO DE ÁGUA COM
TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Alexandre Dal Forno Mastella

Santa Maria, RS, Brasil

2012

**RECUPERAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM TRECHO
DE CURSO DE ÁGUA COM
TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL**

Alexandre Dal Forno Mastella

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal.**

Orientador: Prof. Dr. Miguel Antão Durlo

Santa Maria, RS, Brasil

2012

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Mastella, Alexandre Dal Forno

Recuperação experimental de um trecho de curso de água com técnicas de engenharia natural / Alexandre Dal Forno Mastella.-2012.

79 p.; 30cm

Orientador: Miguel Antão Durlo

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2012

1. Bioengenharia de solos. 2. Hedychium coronarium. 3. Arroio cancela. 4. Santa Maria - RS. 5. Engenharia natural. I. Durlo, Miguel Antão II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**RECUPERAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM TRECHO
DE CURSO DE ÁGUA COM
TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL**

elaborada por
Alexandre Dal Forno Mastella

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Miguel Antônio Durlo (UFSM)
(Presidente/orientador)

Prof. Dr. José Newton Cardoso Marchiori (UFSM)

Prof. Dr. Fabrício Jaques Sutili (UFSM)

Prof. Dr. Darci Alberto Gatto (UFPEL)

Santa Maria, 16 de Março de 2012.

Aos meus pais DIMAS e MARCIA.

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, pela estrutura disponibilizada e conhecimentos transmitidos.

Pela oportunidade de ser o último orientando de Mestrado do professor e amigo Dr. Miguel Antão Durlo, agradeço pelo convívio, pela compreensão nos momentos difíceis e pelos ensinamentos que guardarei para sempre.

Ao professor Dr. Fabrício Jaques Sutili, pela atenção e acompanhamento mostrados durante este trabalho, juntamente com os professores Dr. José Newton Cardoso Marchiori e Dr. Darci Alberto Gatto, agradeço por constituírem a excelente banca examinadora desta pesquisa.

À Prefeitura Municipal de Santa Maria e a Secretaria Municipal de Proteção Ambiental na pessoa do Sr. Secretário Eng. Florestal Luiz Alberto Carvalho Junior.

À CACISM – Câmara de Comércio Indústria e Serviços de Santa Maria, na pessoa do seu Presidente Eng. Pacheco e Acessor Executivo Sr. Edson.

Aos alunos do Curso de Graduação em Engenharia Florestal da UFSM: Bernardo Corso Frantz, Renan Vargas Dorneles, Tiago Damian Minuzzi, Vagner Cargnin de Souza, Henrique Greff e Marcelo Santarém Hernandes. Agradeço pela disponibilidade e dedicação, dizendo que o sucesso deste trabalho não teria sido possível sem a ajuda de vocês, em especial ao Bernardo, pelo entusiasmo mostrado durante a realização do projeto e amizade para a vida inteira.

Ao meu querido amigo Tobias Zamberlan, o “Bia”, pela importante ajuda.

A minha namorada Taís Cervi, pela atenção, incentivo e carinho.

A toda minha família, em especial ao meu pai Dimas Mastella, companheiro de muitos momentos e meu exemplo. Conseguimos, obrigado.

*Um professor e um aluno nunca se aposentam,
ensinar e aprender pode ser um prazer
que dure a vida inteira.*

(Diana Corso)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

RECUPERAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM TRECHO DE CURSO DE ÁGUA COM TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL

AUTOR: ALEXANDRE DAL FORNO MASTELLA
ORIENTADOR: DR. MIGUEL ANTÃO DURLO

DATA E LOCAL DA DEFESA: SANTA MARIA, 16 DE MARÇO DE 2012.

O progresso de Santa Maria teve como uma de suas conseqüências a degradação ambiental dos cursos de água urbanos. A importância desse estudo se dá na apresentação de uma alternativa e de novos instrumentos de trabalho para a recuperação dos taludes fluviais da cidade. Elegeu-se um trecho do arroio Cancela, situado no Parque da CACISM (Câmara de Comércio Indústria e Serviços de Santa Maria) ou Parque da Tamanday, entre os bairros Nossa Senhora Medianeira e Nonoai, com o objetivo de remodelar, estabilizar e recuperar ecologicamente o local por meio da construção de uma “parede Krainer” vegetada com *Hedychium coronarium* J. Köning (cardamomo). Buscou-se analisar o desenvolvimento da espécie na estrutura com contagem das brotações e monitorar a estabilidade do talude. Para isso, a parede foi dividida em três parcelas: a parcela “A” compreendeu a seção próxima a ponte; a parcela “B” localizava-se no centro da parede e a parcela “C”, mais a montante. Cada parcela foi submetida a 3 tratamentos, sendo: T1 – linha d’água; T2 – meio da parede e T3 – no alto do talude. Aos 90 dias da instalação do experimento o tratamento T1 (linha d’água) obteve os melhores resultados, pois nesse ponto o *Hedychium coronarium* mostrou um maior número de brotações, com uma média de 3,65 brotações por metro linear. Ao avaliar o potencial biotécnico do *Hedychium coronarium* na estrutura, comprovou-se que essa espécie herbácea pode ser utilizada pela engenharia natural, havendo a necessidade de testar outras espécies em conjunto. Com a atuação do poder público e da iniciativa privada, moradores e pessoas da comunidade puderam observar uma forma de recuperação ambiental inovadora. Esse trabalho possibilitou o surgimento de outras pesquisas que estão sendo desenvolvidas por alunos do curso de Graduação em Engenharia Florestal da UFSM.

Palavras-chave: Bioengenharia de solos. *Hedychium coronarium*. Arroio cancela. Santa Maria – RS.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

EXPERIMENTAL RECOVERY OF A STRETCH OF A STREAM WITH TECHNIQUES OF SOIL BIOENGINEERING

AUTHOR: ALEXANDRE DAL FORNO MASTELLA

ADVISOR: DR. MIGUEL ANTÃO DURLO

DATE AND PLACE OF DEFENSE: SANTA MARIA, MARCH 16, 2012.

The progress of Santa Maria had as one of its consequences the environmental degradation of urban streams. The importance of this study is given in the presentation of an alternative and new methods of work for the rehabilitation of rivers slopes of the city. It was chosen as a stretch of creek Cancela, located in the Park of CACISM (Câmara de Comércio Indústria e Serviços de Santa Maria) or Park of Tamanday, between the districts Nossa Senhora Medianeira and Nonoai, in order to reshape, stabilize and restore ecologically the place building a cribwall vegetated with *Hedychium coronarium*. It was aimed to analyze the development of the specie in the structure by counting the shoots and monitor the stability of the slope. To this end, the cribwall was divided into three portions: the portion "A" understood the section near the bridge, the portion "B" was located in the center portion of the cribwall, and "C" is further upstream. Each plot was subjected to three treatments, as follows: T1 - water line, T2 - middle of the cribwall and T3 – loud of the slope. In 90 days of the experiment, the T1 (water line) obtained the best results, because at this point the *Hedychium coronarium* showed a higher number of shoots with an average of 3.65 shoots per linear meter. In assessing the biotechnical potential of *Hedychium coronarium* in the structure, it was shown that this herbal specie can be used by soil bioengineering, there is need to test other species together. With the action of public and private sector, residents and the community, were able to observe an innovative form of environmental remediation. This work enabled the development of new researches being undertaken by students of the Graduate Forestry at UFSM.

Keywords: Soil bioengineering. *Hedychium coronarium*. Cancela stream. Santa Maria – RS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista geral de um trecho do arroio Cancela, salientando o local de intervenção – seta (Fonte: Google Earth, 2012).....	14
Figura 2 – Vista superior do trecho do curso de água a ser tratado (Fonte: Google Earth, 2012).....	15
Figura 3 – Mapa da bacia hidrográfica do arroio Cadena, classificada segundo o grau de intervenção antrópica. Destaque para a microbacia do arroio Cancela. Fonte: OLIVEIRA, E. L. A. et al, 2006 (adaptado).....	26
Figura 4 – Bacia hidrográfica do arroio Cancela contrastada com a área urbana de Santa Maria. Destacado em vermelho o local do trabalho. Fonte: Garcia & Paiva 2005 (adaptado).....	28
Figura 5 – Vista frontal das peças de uma parede Krainer simples, com destaque para o termo “gavetas” – correspondente ao local de colocação dos feixes vivos.....	34
Figura 6 – Parede Krainer simples em corte transversal.....	34
Figura 7 – Parede Krainer dupla em corte transversal.....	35
Figura 8 – <i>Hedychium coronarium</i> J. Köning. Fonte: ROSCOE (1828, apud Sutili, 2007).....	41
Figura 9 – Estado do Rio Grande do Sul (RS) com seus principais cursos de água, em destaque a cidade de Santa Maria, local do experimento (Fonte: Sutili, 2007).....	42
Figura 10 – Trecho escolhido. À direita: a presença de taquaras (<i>Bambusa tuldoides</i>) situadas sobre a margem a ser trabalhada. À esquerda: raio interno com depósito de sedimentos e lixo.....	45
Figura 11 – Parede Krainer simples de 18 metros de comprimento composta por 15 longarinas, 13 pilotos e mais de 40 peças transversais.....	47
Figura 12 – Vista tridimensional da parede Krainer observada a partir da ponte de acesso ao parque da CACISM.....	48
Figura 13 – Vista frontal da parede Krainer.....	48
Figura 14 – Exemplos de <i>H. coronarium</i> (cardamomo) utilizados no trabalho.....	51

Figura 15 – Terraplanagem do terreno.....	58
Figura 16 – Valeta coberta com lona plástica emergencial de 12 x 4 metros.....	59
Figura 17 – Primeiros brotos de <i>Hedychium coronarium</i> 60 dias após o término do trabalho.....	61
Figura 18 – Esquema do experimento mostrando as parcelas e os tratamentos na parede Krainer.....	63
Figura 19 – Croqui dos tratamentos em uma parcela da parede Krainer (vista frontal).....	64
Figura 20 – Parede Krainer vegetada com <i>Hedychium coronarium</i> e o talude estabilizado com leivas de grama, 150 dias após o término da intervenção.....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Visão geral da área	46
Quadro 2 – Dimensionamento da madeira a ser utilizada na parede Krainer	49
Quadro 3 – Madeira utilizada na obra.	50
Quadro 4 – Vegetação utilizada: <i>Hedygium coronarium</i> – cardamomo.....	51
Quadro 5 – Atividades realizadas para a construção da parede Krainer	52
Quadro 5 – Atividades realizadas no dia 30 de Junho	53
Quadro 7 – Atividades realizadas no dia 01 de Julho	54
Quadro 8 – Piloteamento e primeira linha de longarinas.....	55
Quadro 9 – Construção da parede Krainer	57
Quadro 10 – Enleivamento do terreno para correção do processo erosivo	60
Quadro 11 – Custo dos materiais adquiridos – Parede Vegetada de Madeira.....	62
Quadro 12 – Tratamento 1 (T1) – Linha d’água	66
Quadro 13 – Tratamento 2 (T2) – Meio da parede.....	66
Quadro 14 – Tratamento 3 (T3) – Alto do talude.....	67
Quadro 15 – Brotações de <i>Hedygium coronarium</i> em cada tratamento.....	68
Quadro 16 – Diferenças significativas das médias entre tratamentos.....	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA	13
1.1 Objetivos.....	16
1.1.1 Objetivo geral	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 O ambiente fluvial	17
2.1.1 Considerações gerais.....	17
2.1.2 Estabilidade de taludes fluviais	18
2.1.3 Processos fluviais modificadores	19
2.2 Bacias hidrográficas urbanas	21
2.2.1 A microbacia do arroio Cancela	25
2.3 A Engenharia Natural	29
2.3.1 Conceitos e objetivos	29
2.3.2 Manejo biotécnico de cursos de água	32
2.4 A vegetação utilizada na engenharia natural.....	36
2.4.1 Propriedades biotécnicas	36
2.4.2 Critérios para a escolha da vegetação	38
2.4.3 O <i>Hedychium coronarium</i> J. Köning	40
3 MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1 Caracterização da área de estudo	42
3.2 Projeto de intervenção.....	45
3.2.1 Apresentação do problema	45
3.2.2 Parede vegetada de madeira – (Parede Krainer simples).....	47
3.2.3 Detalhamento do trabalho	49
3.3 Esquema para a análise do comportamento do <i>Hedychium coronarium</i>	63
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4.1 Estatística descritiva.....	66
4.1.1 Brotações por metro linear em cada tratamento.	66
4.1.2 Relação das brotações entre tratamentos.....	69
4.2 Considerações sobre o desenvolvimento do <i>Hedychium coronarium</i>	69

4.3 Estabilização do talude.....	70
5 CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES	72
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1 INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA

Sabe-se que a maior parte dos cursos de água localizados na área urbana de Santa Maria, como de resto a maioria dos cursos de água urbanos de grandes cidades do Rio Grande do Sul, encontram-se em mau estado ecológico. Necessita-se assim, a restauração e a estabilização de suas margens em trechos não canalizados, pois em percursos sob a forma de galerias subterrâneas, esse tipo de ação torna-se inviável.

A bioengenharia, engenharia natural ou também denominada engenharia naturalística, consiste da combinação de técnicas tradicionais de engenharia aplicando, em conjunto, materiais inertes e vegetação, tendo a finalidade de recuperar ambientalmente taludes naturais e artificiais. Quando esse tipo de intervenção é aplicada somente no âmbito fluvial, pode-se dizer que têm-se ali, o manejo biotécnico de cursos de água.

O progresso de Santa Maria teve como uma de suas conseqüências a degradação ambiental dos cursos de água urbanos. Dessa forma, para que o desenvolvimento continue, e o meio ambiente seja recuperado e preservado, são necessários programas contínuos geridos pelo setor público e fiscalizados pela sociedade. No entanto, devido a não se conhecer de forma suficiente e segura o comportamento das diferentes formas de intervenção e à urgência de se tomar algumas medidas, é fundamental intervir de maneira pontual em alguns locais, inicialmente com caráter experimental, aplicando técnicas e espécies teoricamente adequadas.

O *Hedychium coronarium* J. Köning, conhecido popularmente como “cardamomo”, vegeta em solos brejosos e a pleno sol, com floração praticamente o ano todo, possui de maneira geral características tipicamente reófilas. Essa espécie apresenta ampla ocorrência na região Central do estado do Rio Grande do Sul. A análise da brotação relacionada com a altura em que as plantas se encontram a partir da linha da água e a cobertura vegetal que podem proporcionar no conjunto de uma obra, possibilitarão confirmar a adaptabilidade desta planta para a finalidade de proteção da margem.

Como primeiro trabalho experimental em cursos de água urbanos de Santa Maria, elegeu-se um trecho do arroio Cancela situado entre os bairros Nossa

Senhora Medianeira e Nonoai (Figura 1). Nesse trecho, o Cancela mostra-se sinuoso, apresenta um fluxo da água de baixa velocidade mas que costuma erodir os taludes nos raios externos das curvas e depositar material no raio interno das mesmas, a jusante. O continuo desconfinamento dos taludes nos raios externos – que ocorre com vazão normal – faz com que, por ocasião das enchentes, grandes massas de terra venham a ser movimentadas, expondo ainda mais as margens à ação da erosão. Por outro lado, o depósito de materiais nos raios internos das curvas seguintes favorece cada vez mais o desvio da corrente. Esse processo, se não for contido, traz prejuízos ecológicos e estéticos e pode pôr em risco estruturas e instalações, como ocorre no presente caso.



Figura 1 – Vista geral de um trecho do arroio Cancela, salientando o local de intervenção – seta.

Fonte: Google Earth, 2012.

O trecho a ser trabalhado possui 20 metros de extensão (Figura 2: entre as duas setas). Esta porção foi eleita para o tratamento por estar localizada em área urbana e devido ao seu péssimo estado de conservação junto à ponte que leva ao Parque da Tamanday ou também denominado Parque da CACISM – Rua Tamanday

nº 101 – terreno pertencente à Câmara de Comércio Indústria e Serviços de Santa Maria, CACISM.



Figura 2 – Vista superior do trecho do curso de água a ser tratado.

Fonte: Google Earth, 2012.

Além da pista de caminhada e dos aparelhos de uma academia de ginástica ao ar livre, presentes no local, o gramado é utilizado como área de lazer diariamente pelos moradores do entorno do parque. Para as crianças, há uma pracinha com areia, brinquedos e bebedouro. A prática de esportes, como a corrida, além do uso da ciclovia, que contorna a pista de caminhada, é frequente. Por esse motivo, torna-se ainda mais pertinente o emprego das obras de engenharia natural no curso de água do local, uma vez que estas priorizam o aspecto técnico e, ao mesmo tempo, paisagístico para a correção dos problemas. Dessa forma, a área não sofreria uma ação “pesada” de engenharia, mas sim, passaria por um trabalho mais natural, visando à harmonia com o ambiente e a segurança das benfeitorias.

Assim, a importância desse estudo se dá na apresentação de uma alternativa e de novos instrumentos de trabalho para os taludes fluviais de Santa Maria e outros locais com problemas semelhantes. As biotécnicas deverão resgatar o valor

ecológico e paisagístico dos locais em que são empregadas, visando manter e ampliar as possibilidades dos usos dos rios pela sociedade.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

A remodelagem, a estabilização e a recuperação ecológica experimental de um pequeno trecho do arroio Cancela, em Santa Maria – RS, por meio de uma técnica de Engenharia Natural: a “parede Krainer simples”.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Levantar as características físicas e biológicas do local de intervenção;
- b) Construir uma parede Krainer vegetada com *Hedychium coronarium*;
- c) Avaliar a brotação de *Hedychium coronarium* junto à linha da água no meio da parede e no alto do talude;
- d) Monitorar a estabilização da margem;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O ambiente fluvial

2.1.1 Considerações gerais

A água é um dos agentes modeladores exógenos do relevo mais importantes na construção e composição das paisagens terrestres. Está ligada aos processos de erosão e sua influência sobre a estabilidade de encostas e taludes fluviais é decisiva. Do seu escoamento nos cursos de água, resultam processos fluviais que participam da constante esculturação das formas de relevo e correlacionam-se, de forma dinâmica, a toda sorte de aspectos ecológicos, econômicos e sociais. (DURLO; SUTILI, 2005).

Segundo Christofolletti (1974), rio é uma corrente contínua de água, mais ou menos caudalosa, que deságua noutra, no mar ou lago. Os rios constituem os agentes mais importantes no transporte dos materiais intemperizados das áreas elevadas para as mais baixas e dos continentes para o mar. Sua importância é capital entre todos os processos morfogenéticos. Todos os acontecimentos que ocorrem na bacia de drenagem repercutem, direta ou indiretamente, nos rios. As condições climáticas, a cobertura vegetal e a litologia são fatores que controlam a morfogênese das vertentes e, por sua vez, o tipo de carga detrítica a ser fornecida aos rios. O estudo e a análise dos cursos de água só podem ser realizados em função da perspectiva global do sistema hidrográfico.

De acordo com Sutili, Durlo e Bressan (2004), os cursos de água têm seu comportamento influenciado pela quantidade, intensidade e duração das precipitações, por fatores como o tipo de solo, sua profundidade e seu teor de umidade em determinado momento, pela cobertura vegetal de sua bacia de captação, bem como pelas características biotécnicas da cobertura vegetal de suas margens. As ações antrópicas precedentes e as praticadas recentemente interagem com esses fatores.

2.1.2 Estabilidade de taludes fluviais

Durlo e Sutili (2005) mencionam que em decorrência do aumento da declividade, há o aumento da velocidade do escoamento de um curso de água. Dessa forma, o rio passa a adquirir um comportamento torrencial, provocando com alto poder erosivo, a escavação do seu leito e margens, o que pode acelerar a dinâmica processual de uma rede de drenagem, ocasionando prejuízos de caráter econômico e ambiental.

O mesmo autor observa também que a movimentação de corpos sólidos pela água está relacionada com o comportamento de seu fluxo. Por um lado, enquanto o fluxo for normal, a movimentação pode se expressar em forma de erosões e transporte considerados normais ou, pelo menos, temporariamente inofensivos. Entretanto, quando ocorrem vazões maiores, os movimentos podem incluir deslizamentos e desmoronamentos catastróficos, com transporte de grandes quantidades de materiais, constituindo problemas ecológicos e tornando-se, muitas vezes, economicamente prejudiciais e perigosos. Como conseqüência, são comuns as deposições de materiais em áreas indesejadas e os entupimentos de leitos naturais ou escoadouros artificiais com diversas influências danosas sobre o meio ambiente.

De acordo Teixeira et al. (2000), os escorregamentos e deslizamentos constituem os tipos mais comuns de fluxo gravitacional rúptil em encostas. A característica essencial é o desequilíbrio localizado de tensão interna ao longo de uma superfície de fraqueza preexistente ou definida durante o início do processo. O regime de forças distribui-se de tal modo que há distensão no topo do declive, com formação de planos de deslocamento, onde a deposição se dá sob a forma de dobras e brechas de solo ou sedimento subconsolidado. Isso significa que a mistura grãos/fluido desloca-se declive abaixo como um bloco mais ou menos coerente e homogêneo, podendo perder parcialmente ou não esta coerência durante sua deposição na base da encosta.

Segundo Wolle (1988), o desconfinamento, (escavação, corrosão), provocado por córregos e riachos, ocasiona profundos entalhes nas suas margens, o que resulta em taludes íngremes e potencialmente instáveis, induzindo o grande número de deslizamentos. No entanto, em taludes fluviais, também é comum o aumento de

peso, tanto por infiltração da água ou alterações do nível hidrostático, como pela passagem de veículos e animais ou desenvolvimento da vegetação.

Haverá deslizamentos quando o pé de apoio da encosta for retirado e a força normal do corpo propício à movimentação for superior às forças de coesão do solo. Esse evento, em talude fluvial, dá início a uma movimentação mais complexa, em que o material inicialmente movimentado pelo deslizamento, ao encontrar o fluxo de água, é novamente erodido e transportado. Assim, à medida que o entalhamento se torna mais profundo, mais facilmente podem ocorrer novos deslizamentos, já que, além do desconfinamento da encosta a sua altura e inclinação aumentam, retirando ainda mais a sua estabilidade (DURLO; SUTILI, 2002).

Durlo e Sutili (2003) relatam que a formação de taludes fluviais instáveis e, portanto, sujeitos ao movimento, é característica – porém não exclusividade – dos trechos curvos de um curso de água. A presença também de árvores ou touceiras de taquaras caídas, pedras de grandes dimensões ou depósitos de seixos no leito dos cursos de água, podem, de diversas maneiras, desviar a força da água para as margens iniciando a corrosão, que resulta em deslizamento e instabilidade da margem.

2.1.3 Processos fluviais modificadores

Netto (2001) comenta que “a água é um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem. Dentre as múltiplas funções da água, destaca-se o papel de agente modelador do relevo da superfície terrestre”. Este mesmo autor menciona que a área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma mesma saída, num determinado ponto do canal fluvial, corresponde à bacia de drenagem ou bacia hidrográfica.

Teixeira et al. (2000) comentam que os processos associados aos rios, denominados processos fluviais, enquadram-se, num sentido mais amplo no conjunto de processos aluviais, que compreendem a erosão, transporte e sedimentação. O transporte sedimentar em sistemas aluviais processa-se principalmente como fluxo de detritos, ou como carga suspensa ou de fundo, em canais fluviais.

“A erosão, provocada por um curso de água, ou torrente, é resultado da escavação do seu próprio leito, fundo e margens” (CUNHA, 2001). De acordo com

Bordas e Semmelmann (1993), isso é possível devido às constantes forças de cisalhamento, de tração, de torção e de compressão, exercidas principalmente, pela turbulência da água. Essas forças hidrodinâmicas, em dado momento, podem superar as de resistência ao fluxo, disponibilizando-as ao transporte, realizado pelo próprio curso de água.

Durlo e Sutili (2005) mencionam que o grupo mais importante de materiais transportados pelos cursos de água é aquele que encontra-se em suspensão. Neste grupo, enquadram-se as partículas que, oriundas da erosão ou do desgaste dos próprios materiais em transporte, movimentam-se por longos trechos suspensos na massa de água. Esses materiais depositam-se somente após acentuada redução da velocidade, ocasionada pelo alcance de trechos menos declivosos ou mais largos. Assim, enquanto houver força para conservar as partículas acima da superfície do leito, há o transporte através da suspensão. No entanto, há também detritos que se movimentam, deslizando e rolando no leito do curso de água ou dando pequenos saltos sobre o mesmo. Desta maneira, quando a partícula é movimentada, há um soerguimento em relação à superfície do leito e ela se incorpora ao fluxo do fluido. Havendo diminuição da força do soerguimento, se não houver força de turbulência suficiente para manter as partículas suspensas e integradas no fluxo, essas tendem a se depositar.

Os mesmos autores observam também que, por mais que existam muitas variáveis que influenciam a movimentação de partículas no curso de água, entende-se como suficiente a relação existente entre diâmetro da partícula transportada e a velocidade da água. Assim, gera-se o conceito de velocidade limite transporte, compreendida como a velocidade necessária para colocar materiais em movimento ou, então, para mantê-los em movimento.

Processos como erosão, transporte e sedimentação estão diretamente relacionados com a ação antrópica, involuntária ou intencional. Como afirmam Durlo e Sutili (2004), “determinadas forças exógenas podem ser influenciadas pelas ações humanas, com certa facilidade e em curto prazo, tornando-se instrumentos para o controle dos processos fluviais e estabilização de encostas”.

A estabilização de uma margem pode ser alcançada por meio de alterações em características como a profundidade e velocidade da água, a tensão de erosão suportada pelo leito e a cobertura vegetal do talude. Além disso, deve-se levar em conta que, quando se trata de processos fluviais modificadores da paisagem,

dependendo da intensidade das precipitações e do tipo de cobertura do solo, a água pode modificar o terreno, muitas vezes causando danos imediatos.

Durlo e Sutili (2005) afirmam que, por meio de pequenas intervenções físicas no leito e canal (como remodelagem dos taludes, implantação de diversos tipos de obras transversais e longitudinais, modificação da largura e da profundidade e suavização das curvas) determinadas características podem ser alteradas e os problemas advindos minimizados. Essas intervenções podem ser apoiadas ou não por medidas vegetativas.

2.2 Bacias hidrográficas urbanas

Sabe-se que as atividades humanas sempre foram relacionadas e até mesmo dependentes da água. De acordo com Pinto (1976), “bacia hidrográfica ou bacia de contribuição de uma seção de um curso de água é a área geográfica coletora de água de chuva que, escoando pela superfície do solo, atinge a seção considerada”.

Os rios, arroios, sangas ou como se queira denominar, visto que não existe uma classificação válida para sua denominação, servem como vias de transporte, fontes de energia e água potável, suprimindo áreas por meio da irrigação e fornecendo sustento com a prática da pesca. Além disso, as áreas próximas a esses cursos de água (planícies de inundação) destacam-se por serem terras férteis, permitindo o desenvolvimento de diversas culturas.

Sobre as bacias hidrográficas urbanas Scariot (2003) comenta que uma corrente está em equilíbrio fluvial quando não se verifica erosão ou deposição de material. O perfil de equilíbrio de um rio é influenciado por vários fatores, como volume e carga da corrente, tamanho e peso da carga, declividade, escoamento superficial na bacia etc.. O desenvolvimento do processo de erosão lateral dos canais provoca o solapamento de terrenos que quando ocupados por moradias, se constitui em risco. Esse processo se agrava, devido ao volume de água recebida da área urbanizada, principalmente a central, cuja impermeabilização do solo representa um incremento significativo no escoamento superficial. A água que mais tarde é lançada no arroio principal, implicando em um incremento de energia do rio, altera também, a capacidade erosiva. As descargas maiores e mais rápidas sobre

margens arenosas, sem vegetação ciliar e com moradias, representam um importante ambiente de risco.

Barbosa (1997) diz que “a água destaca-se como componente fundamental para o desenvolvimento econômico e social de uma região ou um país, uma vez que existem pouquíssimas atividades humanas em que sua utilização é prescindível”.

O avanço da urbanização e a devastação da vegetação influenciam significativamente a quantidade de água infiltrada em adensamentos populacionais e zonas de intenso uso agropecuário. Nas áreas urbanas, as construções e a pavimentação impedem a infiltração, causando efeitos catastróficos devido ao aumento do escoamento superficial e redução na recarga da água subterrânea (TEIXEIRA, et al. 2000).

De acordo com Tucci (2006), a água no meio urbano pode ser vista sob vários aspectos. O principal é o abastecimento, no entanto, vários outros podem ser considerados, principalmente com o crescimento da população nos últimos tempos. Além disso, à medida que os limites urbanos aumentam, a densificação populacional se torna mais intensa. Assim, fatores como a poluição doméstica e industrial se agravam, criando condições ambientais inadequadas, provocando o desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica e a contaminação da água subterrânea.

Binder (1994) relata que novas estradas, estações de tratamento de esgotos e a urbanização reduzem o leito maior dos rios e diminuem as áreas de retenção de enchentes. Baixadas com córregos retificados e canalizados favoreceram a atividade agrícola intensiva. Entretanto, a redução do comprimento do curso do rio e a uniformização da seção de vazão aumentam a velocidade da corrente e, conseqüentemente, a erosão e o assoreamento à jusante, exigindo obras de vulto para manter o leito do rio retificado.

O mesmo autor comenta que também, em épocas de enchentes extremas, são freqüentes os prejuízos materiais e, às vezes, humanos. A ruptura da interação natural entre rio e baixada ocasiona o empobrecimento dos ecossistemas com perda da diversidade biótica. Com isso, vê-se que os rios estão permanentemente sujeitos à ocorrência de modificações no seu curso natural. As possibilidades de modificações naturais dos cursos d'água são fortemente limitadas em rios retificados e mantidos por obras hidráulicas. Esse fato impede a renovação natural dos núcleos biológicos, das estruturas e das condições específicas das diversidades da biota. O

simples fato da maior parte das áreas urbanas serem desflorestadas já constitui um sério problema ambiental.

Conforme Tucci (2006), no desenvolvimento urbano, o aumento dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica é significativo. Devido às construções, à limpeza de terrenos para novos loteamentos, aos arruamentos, entre outras causas, geram-se conseqüências ambientais como o assoreamento da rede de drenagem com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos, além do transporte de poluentes agregados ao sedimento, que contamina as águas pluviais.

Há também um aumento da freqüência e magnitude das enchentes devido à ocupação do solo e incremento de superfícies impermeáveis. Adicionalmente, o desenvolvimento urbano pode produzir obstruções ao escoamento, como aterros e pontes, drenagens inadequadas, escoamento junto a condutos. A ocorrência de enchentes naturais que atingem a população que ocupa o leito maior dos rios, também tem aumentado com o decorrer dos anos, principalmente pelo processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior (DURLO; SUTILI, 2005).

No contexto urbano brasileiro, os problemas ambientais tem sido cada vez maiores e sua baixa resolução tem-se tornado de conhecimento público pela geração de graves impactos: efeitos da impermeabilização, aumento de resíduos sólidos; enchentes cada vez mais freqüentes; perdas de áreas verdes, prejuízos na saúde da população, entre outros. Programas urbanos de gerência da bacia hidrográfica podem dirigir-se aos impactos da urbanização e reduzir os aumentos no escoamento, na erosão, e na sedimentação. A retenção da água da chuva usando medidas locais, tais como drenagens naturais em vez das tubulações e sarjetas, o reflorestamento, as cisternas de água de chuva e as zonas de amortecimento atrasam o pico do escoamento e reduzem seu volume. Os projetos de renaturalização podem ajudar na estabilidade dos canais que ajustam escoamentos urbanos maiores. As zonas de amortecimento e as áreas verdes ao longo dos canais podem impedir os danos às estruturas dos mesmos. A vegetação nativa das florestas pode ser retornada nos taludes da bacia hidrográfica (GONTIJO, et al. 2005).

A ocupação das áreas adjacentes aos cursos de água, com conseqüente retirada da vegetação ciliar, ocasiona grandes acidentes geológicos, acarretando prejuízos e perdas de vidas humanas. Em Santa Maria, esse processo teve seu início na década de 70 chegando ao ápice no fim dos anos 80. Com isso, adviram prejuízos significativos no abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos cloacal e pluvial, resultado do desenvolvimento urbano sem adequado planejamento.

A falta de planejamento do uso e ocupação do solo urbano tem conduzido a graves situações de conflito de interesses principalmente entre recuperação ambiental e expansão urbana. As inundações urbanas, a contaminação e poluição das águas superficiais e subterrâneas e a escassez de água para abastecimento público põem em cheque a saúde pública e o saneamento ambiental de concentrações populacionais e envolvem elevados custos sociais e econômicos para sua correção (Tucci et al., 2003).

Maksimovic (2001) alerta que as bacias devem ser usadas como unidade de planejamento e gerenciamento não só da água, mas também de outros recursos e atividades econômicas e humanas, onde qualquer intervenção deve ser estudada com o intuito de avaliar suas conseqüências e benefícios para a bacia.

De acordo com Teixeira et al. (2000), as extrações desmedidas dos corpos de água e a contaminação são os dois grandes problemas que têm ocupado as atenções dos governos nas últimas décadas. O abastecimento de áreas metropolitanas exige que a água seja trazida de regiões cada vez mais distantes, onerando e comprometendo os recursos hídricos. Ao mesmo tempo, tradicionalmente, os rios têm servido de receptores para os lançamentos de esgotos urbanos, de lixo e de efluentes agro-industriais. Em várias regiões o meio ambiente tem sido incapaz em degradar esses contaminantes e restituir o seu equilíbrio natural. Os efluentes domésticos municipais possuem elevadas concentrações em carbono orgânico, cloreto de nitrogênio, sódio, magnésio, sulfato e alguns metais, incluindo ferro, zinco e cobre, além de concentrações elevadas e variadas de microorganismos patogênicos. Assim, a chave para o sucesso de qualquer programa de manejo e proteção dos recursos hídricos é a participação dos envolvidos, incluindo a sociedade civil, o contaminador, e o Estado, por meio de seu órgão de controle ambiental.

As cidades, no passado, localizavam-se próximas a rios de médio e grande porte, para uso do transporte fluvial. A parcela do leito maior, ocupada pela população, sempre dependeu da memória dos habitantes e da freqüência com que as enchentes ocorriam. Uma seqüência de anos sem inundação é motivo para que a sociedade pressione para ocupar o leito maior do rio (TUCCI, 2006).

Conforme Gontijo et al. (2005), o desafio de recuperar os cursos d'água que sofreram modificações profundas sem colocar em risco as zonas urbanas e vias de transporte, e sem causar desvantagem para a população, deve passar pela elaboração de um plano que leve em conta as particularidades de cada caso e que se articule aos demais planos territoriais e programas regionais. São nas cidades que os cursos de água sofrem as alterações mais significativas, havendo grande

comprometimento das relações biológicas. Nestes casos, as possibilidades de uma revalorização ecológica são limitadas, mas existem, sim, formas de diminuir o impacto ambiental. Muitas vezes, essas melhorias também favorecem as condições de vida da população, como no caso da criação de parques municipais nas margens recuperadas.

Assim, como relatam os mesmos autores, a recuperação de rios não significa a volta a uma paisagem original não influenciada pelo homem, mas corresponde ao desenvolvimento sustentável dos rios e da paisagem em conformidade com as necessidades e conhecimentos contemporâneos. As possibilidades para que se dê a evolução natural dos rios são múltiplas, apesar das limitações concernentes às necessidades de proteção da população ribeirinha. Estas possibilidades existem para córregos, riachos e para rios maiores.

2.2.1 A microbacia do arroio Cancela

A análise da rede de drenagem de Santa Maria permite identificar duas peculiaridades. Uma delas é o fato de que o município não é cortado por nenhum curso de grande magnitude. O Vacacaí, maior rio existente na Região, não atravessa o território municipal, delimitando apenas sua fronteira sul, enquanto o Vacacaí-mirim e o arroio Cadena, ambos situados integralmente na área do município, não têm as características de um grande rio. No entanto, o abastecimento da população com água potável provém, em grande medida, de contribuintes do rio Ibicuí, componente da bacia hidrográfica do rio Uruguai. As principais barragens destinadas a abastecer a cidade situam-se fora dos seus limites territoriais, no leito do Ibicuí-mirim. As águas servidas, no entanto, são direcionadas para a bacia do rio Jacuí e submetidas, apenas em parte, a processos de tratamento de efluentes. Tais singularidades deveriam servir para aumentar a responsabilidade do poder público e da população da cidade quanto ao uso da água e igualmente quanto às condições de seu descarte (SUTILI et al., 2009).

A microbacia do arroio Cancela pertence à bacia do arroio Cadena (Figura 3):

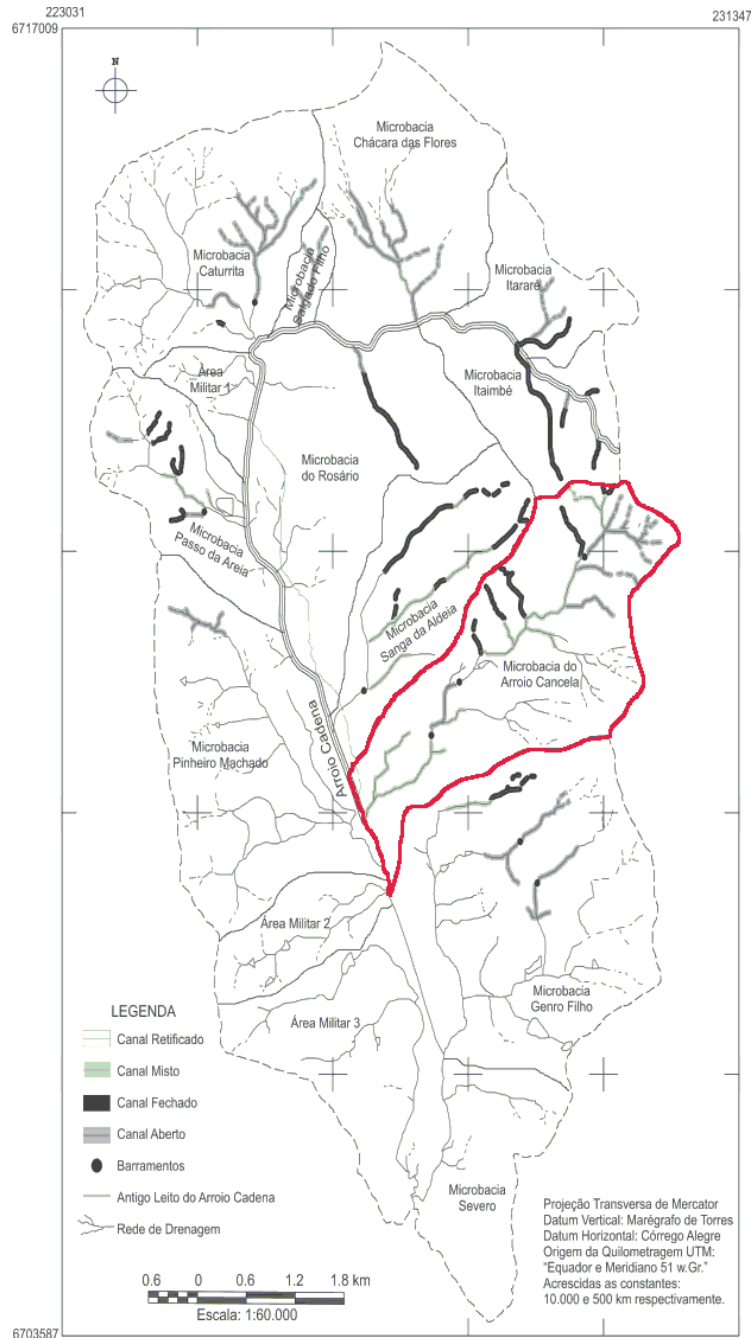


Figura 3 – Mapa da bacia hidrográfica do arroio Cadena, classificada segundo o grau de intervenção antrópica. Destaque para a microbacia do arroio Cancela.

Fonte: OLIVEIRA, et al., 2006 (adaptado).

Robaina et al. (2002) divide a bacia do arroio Cadena em sete unidades de relevo, sendo que a microbacia do arroio Cancela (Figura 3) faz parte da planície aluvial baixa e dos terraços fluviais. A planície aluvial baixa se estende ao longo do canal por todo o médio e baixo curso, abrangendo ainda a porção sul da bacia. Os

terraços fluviais são encontrados na porção de médio curso, na área central da bacia.

Oliveira (2006) relata as alterações humanas provocadas nos cursos de água urbanos de Santa Maria (Figura 3), levando em conta características como: as feições que indicam a ação dos processos erosivos nas margens, as medidas de contenção feitas pelos moradores, o estado de conservação da vegetação ciliar e o padrão urbano de cada área. Assim tem-se:

- Canais Abertos: são os canais de drenagem que escoam abertamente pela área urbana, com intervenções nas margens e no leito.
- Canais Fechados: são os canais que percorrem a área urbana, e que encontram-se completamente fechados por galerias de concreto.
- Canais Mistos: são os canais em que alguns trechos encontram-se abertos, outros com algum tipo de proteção nas margens ou completamente fechados por galerias setorizadas.
- Canal Retificado: são os trechos dos canais de drenagem onde a intervenção ocorreu com diminuição da sinuosidade do canal.
- Barramentos: são todas aquelas obras realizadas nos canais de drenagem que barram a passagem da água quando há um aumento da vazão. Geralmente, os barramentos estão associados às vias perpendiculares ao canal e suas respectivas tubulações.

Com isso, constatou-se que, ao longo do processo de formação e ocupação do espaço urbano da cidade, a microbacia do arroio Cancela foi uma das que sofreu maior grau de intervenção antrópica. Isso é fácil de compreender, pois a microbacia abrange área nobre e central da cidade, ocupada pela população de maior poder aquisitivo, sofrendo, com isso, interferências pesadas de engenharia para priorizar o mercado da construção civil.

No município de Santa Maria, toda e qualquer intervenção em seu meio físico tem suas eventuais conseqüências negativas agravadas. Por possuir encostas íngremes, áreas inundáveis e outros tipos de terrenos expostos a risco, alavancados pela precariedade infraestrutural urbana, tem-se prejuízos materiais e até mesmo perdas de vidas humanas.

Observando a realidade ambiental referente à microbacia do arroio Cancela, nota-se que os problemas mais graves decorrem da urbanização, ou seja, construções, ampliações e novas ocupações desde o centro da cidade, percorrendo

todo o trecho do curso de água, até sua desenbocadura no arroio Cadena, conforme observa-se a seguir na Figura 4:

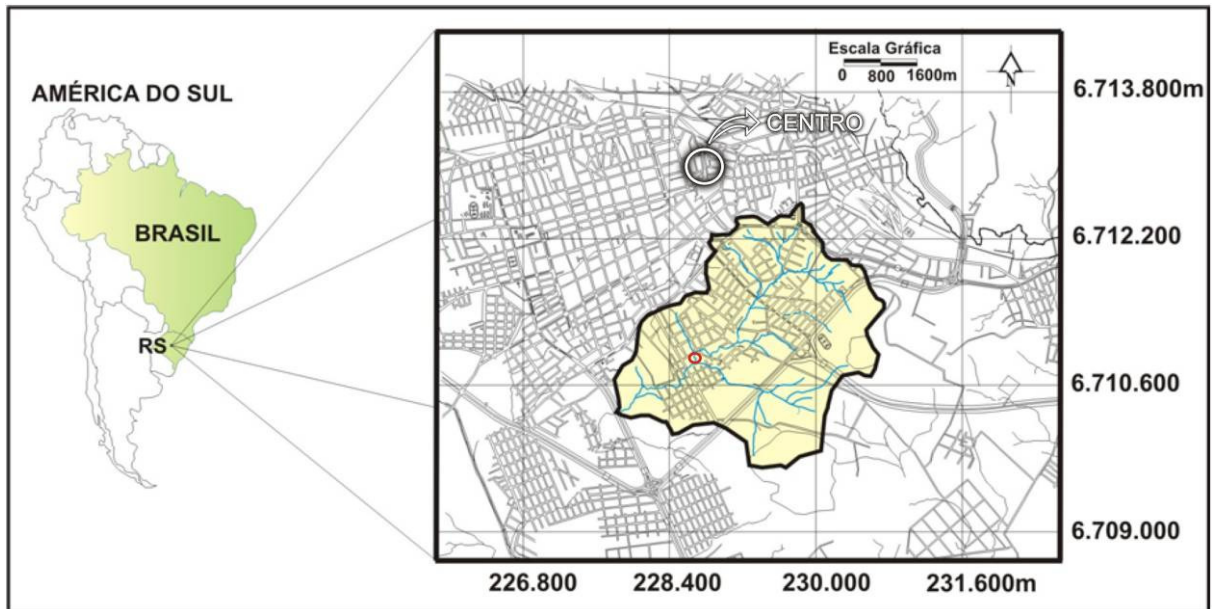


Figura 4 – Bacia hidrográfica do arroio Cancela contrastada com a área urbana de Santa Maria. Destacado em vermelho o local do trabalho.

Fonte: Garcia e Paiva 2005 (adaptado).

Essa gama de fatores degradantes exige um leque de possíveis atividades de cunho ambiental, que modifiquem a paisagem e orientem os moradores para o remanejamento das áreas que tenham sido utilizadas erroneamente, o encaminhamento correto do lixo, o ajardinamento de seus pátios, o plantio de árvores etc..

As obras de melhoria e de consolidação do terreno podem ser simples e de baixo custo, porém devem ter vida útil, no mínimo, igual ao tempo necessário para assegurar a sobrevivência e o efeito protetivo da vegetação implantada. A melhoria do terreno implica, com frequência, na remodelagem (chanframento) da área e sua eventual cobertura com diversos materiais afim de melhorar suas características para a vegetação a ser utilizada. A consolidação consiste na construção de pequenas obras, utilizando, de preferência, materiais de baixo custo, que possam ser encontrados no próprio local, como, por exemplo, restos de vegetais, galhos, madeira roliça e pedras, em diferentes proporções, combinações e disposições sobre o terreno (DURLO; SUTILI, 2005).

Quando visualiza-se problemas decorrentes de erosão, o processo em geral já encontra-se em um estágio avançado. Assim, a intervenção precisa ir além da

simples implantação de cobertura vegetal, exigindo-se ações que melhorem o terreno e proporcionem o desenvolvimento vigoroso à vegetação.

Visto a complexidade da relação água – homem – espaço geográfico, a restauração de arroios urbanos não é uma tarefa fácil, pois, devido à influência da urbanização é quase impossível ter-se um rio naturalmente dinâmico. Assim, pode-se tentar frear a erosão e o excesso de deposição, adequando a vegetação ciliar a real dimensão do curso de água, renaturalizando suas margens com técnicas propostas pela engenharia natural.

2.3 A Engenharia Natural.

2.3.1 Conceitos e objetivos

A Engenharia Natural pode ser definida como um ramo da engenharia que tem como objeto o território, que procura otimizar os processos construtivos numa perspectiva simultânea de funcionalidade estrutural e ecológica. Tem, portanto, como objetivo primário, que as suas intervenções preencham plenamente os objetivos que lhes colocaram do ponto de vista das exigências de uso, e se insiram, simultaneamente, o mais harmoniosamente possível no espaço (Fernandes, 2009).

Durlo e Sutili (2005) definem a Engenharia Natural ou Bioengenharia como o “uso das características biológicas da vegetação combinando-as com obras de grande simplicidade com vistas à solução de problemas técnicos de estabilização de margens de cursos de água e encostas”.

Os mesmos autores dizem que, como ciência, compreende a construção de estruturas físicas bastante simples em combinação com material vegetal vivo, destacando-se pelos seguintes aspectos:

- É econômica: preconiza obras simples e de baixo custo;
- É socialmente correta, com uso intensivo de mão-de-obra não especializada;
- É ecologicamente correta: utiliza materiais naturais como pedras, madeira e vegetação, desempenhando papel estrutural;
- Produz bons efeitos estéticos: por utilizar materiais e vegetação que pode ser arranjada de forma atraente;

Muitos autores referem-se à diversas vantagens da Engenharia Natural.

Para Cornellini e Sauli (2001) a engenharia natural utiliza técnicas de renaturação, que visam criar um ambiente apropriado para as espécies ou comunidades de plantas e animais. Para isso, as plantas vivas ou partes das mesmas, além de materiais de construção são empregados isoladamente ou em combinação com outros materiais.

De acordo com Sutili et al. (2004), na Europa, os primeiros trabalhos referentes a esta técnica, tradicionalmente empregada no controle dos processos erosivos em morros e encostas, datam do século XVII; ela consiste no uso de elementos biologicamente ativos em obras de estabilização do solo e sedimentos.

Bandeira (2005) diz que no Brasil, de maneira empírica, os ribeirinhos têm se valido do uso de pneus, palha, sacos de areia, que além de não produzirem o efeito desejado no controle da erosão, trazem problemas para a recuperação da vegetação ciliar e degradam a paisagem.

Gomes et al. (2005) afirmam que a bioengenharia de solos, por meio do uso de mantas de fibra de coco recobertas com uma malha de polipropileno fotodegradável, associada a retentores de sedimentos, começa a apresentar-se como solução de possível viabilidade no controle da erosão marginal no baixo Rio São Francisco.

“Com efeito, os elementos biologicamente ativos podem ser conjugados a elementos inertes como: rochas, concreto, madeira, ligas metálicas, polímeros naturais e sintéticos, biotêxteis dentre outros” (SCHIELTZ; STERN, 1996).

Gray e Leiser (1982) reconhecem que as biotécnicas usam elementos mecânicos (estruturas), combinados com elementos biológicos (vegetação), para deter e prevenir os deslizamentos e a erosão. As características estáticas e biológicas devem funcionar em conjunto, de maneira integrada e complementar.

Morgan (1995) observa que a bioengenharia é um clássico exemplo no qual arte e ciência relacionam-se significativamente. Segundo o mesmo autor, a bioengenharia dá prioridade à reprodução vegetativa. Entretanto, precisa-se destacar que os métodos germinativos são utilizados em geral em situações específicas e juntamente ou complementando tratamentos vegetativos.

Os métodos de controle de erosão em cursos d'água utilizando biotécnicas, de acordo com Durlo (2000), dividem-se em obras longitudinais, obras transversais e tratamentos de superfície. Enquanto os tratamentos de superfície visam aumentar a

infiltração, o armazenamento e o escoamento mais lento e menos danoso da água, sendo empregados na bacia de captação, as outras duas formas de intervenção são feitas junto aos cursos de água e caracterizadas pelas seguintes diferenças:

- Obras transversais: tem como principal efeito a redução da velocidade da água através do desenvolvimento de um perfil de compensação à montante que modifica a inclinação original do leito e conseqüentemente força o depósito de sedimentos, erguendo, alargando, consolidando o leito e estabilizando as margens.
- Obras longitudinais: não alteram a declividade do leito e suas funções são, mais especificamente, reconstruir, proteger e estabilizar as margens. Isso pode ser conseguido tanto com o revestimento vegetal e/ou físico das margens, como pela construção de râmprolas (defletores) que visam, igualmente, reduzir a velocidade da água e forçar o depósito de sedimentos no local desejado (próximo à margem em tratamento), porém sem alterar a declividade do leito.

Essas formas de revegetação e modelos de construção podem ser aplicadas em diferentes trechos de um curso de água. O efeito proporcionado e os resultados conseguidos ficam na dependência tanto do tipo de material, da técnica escolhida, bem como das espécies vegetais e forma de revegetação que se combina às estruturas.

Os revestimentos buscam conferir às margens (taludes) maior resistência à força da água e podem ir de um simples enrocamento, passando pelo uso de cilindros inertes e gabiões, até a construção de paredes de madeira roliça, ferro ou concreto, combinados com modelos especiais de revegetação (DURLO; SUTILI, 2005).

As biotécnicas podem trazer, em comparação com outros métodos, ganhos para a ecologia, para a economia e para os aspectos paisagísticos. Na dependência dos objetivos e do tipo de construção, pode-se dar mais ênfase a um ou a outro destes aspectos.

2.3.2 Manejo Biotécnico de cursos de água

Durlo e Sutili (2005) afirmam que “quando a bioengenharia se restringe aos cursos de água, pode ser denominada como manejo biotécnico de cursos de água”.

Dessa forma, o objetivo principal desse tipo de ação é usufruir das vantagens de dois tipos de material, o inerte e o vivo, para conseguir a estabilização e/ou a recuperação de um curso de água, sem descuidar dos aspectos ecológicos e econômicos envolvidos.

Cabe salientar, no entanto, que as obras de bioengenharia não alcançam sua total efetividade logo após a implantação. Primeiro, há que se aguardar a pega e o desenvolvimento radicial e aéreo das plantas. Nesta fase, podem ser necessárias intervenções de reposição vegetal e/ou tratos culturais. Somente após a fase de implantação, cuja duração depende de diversos fatores, é que as obras começam a desempenhar integralmente sua ação corretiva e duradoura sobre o problema que se pretende solucionar (BEGEMANN; SCHIECHTL, 1994).

De acordo com Florineth e Gerstgraser (2000), a bioengenharia preconiza uma série de formas de revegetação e modelos de construção. O efeito proporcionado e os resultados conseguidos ficam na dependência tanto do tipo de material e modelo de construção bem como das espécies vegetais e forma de revegetação que se combinam à estrutura.

Durlo e Sutili (2003) observam que, quanto aos materiais inertes, deve-se optar por suas características técnicas, pela facilidade de aquisição, abundância na região e em função do seu custo. Esses materiais podem ser alvenaria, madeira, restos culturais, pedras e seixos, obrigados ao trabalho em conjunto, através de estruturas feitas com arames, telas ou madeira.

Um cuidado básico no tratamento de cursos de água com o uso de biotécnicas é seguir os princípios da manutenção da morfologia típica do curso e a dinâmica das águas. Assim, é necessário evitar a retificação, a eliminação de poços de água, a uniformização da velocidade e da largura do curso de água. Ao mesmo tempo, deve-se buscar a implantação, o desenvolvimento e o tratamento com vegetação ecologicamente adequada para o lugar, levando-se em conta a multifuncionalidade do curso de água (SCHIECHTL; STERN, 1996).

Para o manejo biotécnico de um curso de água, preconizam-se três formas distintas de ação: remodelagem das margens, reforço físico das margens e revitalização biológica dos taludes.

Em muitos casos, apenas a remodelagem dos taludes pode ser suficiente para que a vegetação se estabeleça no local e proporcione a estabilização necessária. Além disso, é fundamental avaliar a necessidade do emprego de algum tipo de reforço físico na base do talude. Isso pode ser feito com a construção de paredes “Krainer”, de cilindros inertes, tranças e esteiras vivas (DURLO & SUTILI, 2005), para que se faça a recuperação ecológica do local, através do uso de vegetação.

Como neste trabalho será observado o comportamento de uma “parede Krainer simples”, faz-se uma descrição mais detalhada da mesma. O nome “Parede Krainer” (em alemão Krainerwand) se refere ao local de origem do modelo de intervenção, a localidade de Krainer, na Áustria.

De acordo com Sangalli (2008) a parede Krainer é indicada para os casos de estabilização e reconstrução de taludes fluviais submetidos à erosão, em cursos de água caudalosos e com velocidades médias a altas incluindo o transporte de materiais sólidos de média granulometria. Existem dois tipos, a parede simples e a parede dupla. A parede simples é ideal em situações de espaço e possibilidade de escavação limitados.

“A parede Krainer simples deve ser construída onde se queira uma característica inicial de estabilização e após a consolidação”. (CORNELINI, 2001)

Para sua construção é necessário que se finque, até o nível da água, estacas de madeira (pilotos), no local onde deseja-se a futura margem. Afim de que a parede trabalhe solidariamente, é preciso amarrá-las e pregá-las nos pontos de encontro com as peças transversais e estas, com as longarinas. Este reforço poderá ser aumentado com a colocação randômica de pedras de alta velocidade limite de transporte (diâmetro acima de 30 cm), para os cursos de água urbanos de Santa Maria, na base, na frente e na parte posterior da parede até o nível da água. Os feixes vivos são colocados nas “gavetas” formadas entre as longarinas e as peças transversais, dispostos com as raízes voltadas para a margem e cobertos com terra.

A seguir na Figura 5 observa-se um esquema da parede Krainer simples:

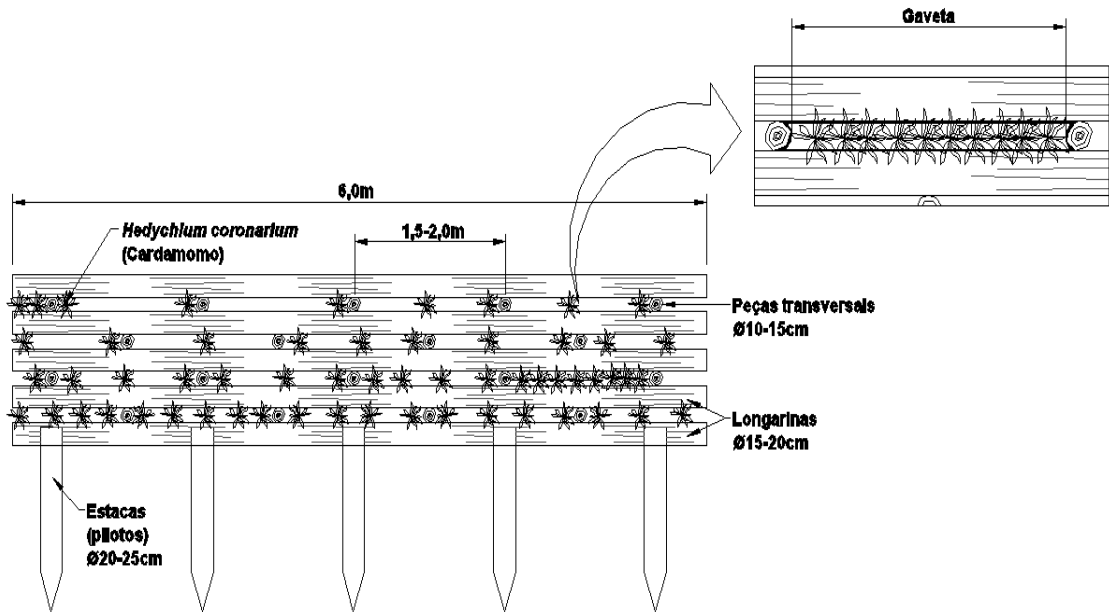


Figura 5 – Vista frontal das peças de uma parede Krainer simples, com destaque para o termo “gavetas” – correspondente ao local de colocação dos feixes vivos.

Abaixo na Figura 6, visualiza-se a parede Krainer simples em corte transversal. Feita a remodelagem do talude, as peças transversais são “apontadas” para facilitar sua penetração no terreno, o mesmo ocorre com os pilotos.

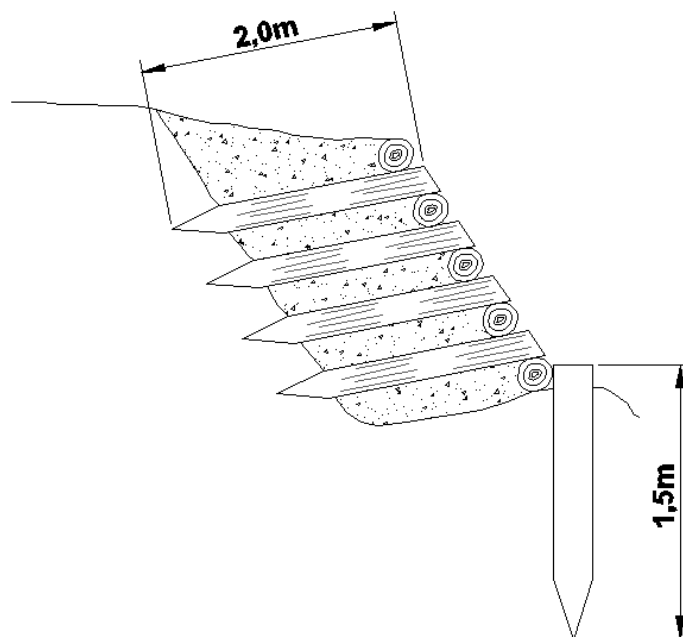


Figura 6 – Parede Krainer simples em corte transversal.

Existe também a parede Krainer Dupla, como mostra a Figura 7:

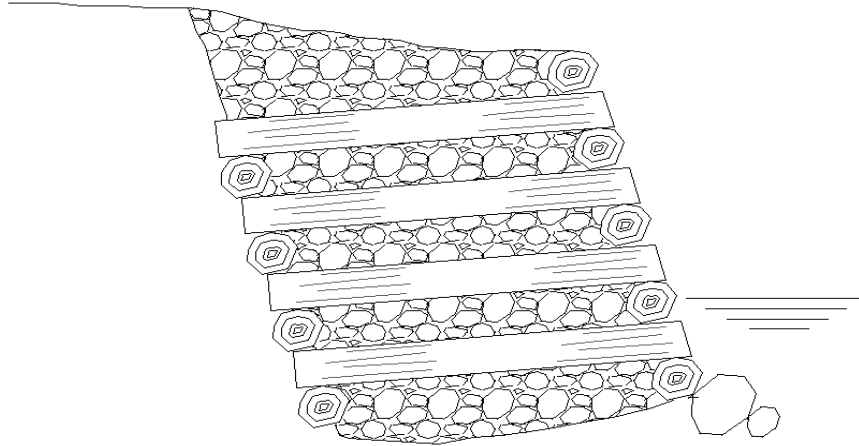


Figura 7 – Parede Krainer dupla em corte transversal.

Para a revitalização biológica dos taludes, o material biológico vegetal a ser utilizado nas biotécnicas, deve provir das proximidades, afim de não encarecer os custos da obra com o transporte da vegetação e proporcionar a harmonia com o ambiente, uma vez que as plantas estão teoricamente aptas àquele sítio. É importante que seja empregado material vivo, (mudas completas em feixes) ou com capacidade de brotação e enraizamento (estacas, varas), juntamente com material inerte (pedra, madeira). Na escolha do material biológico a ser usado, a preferência é sempre àqueles que tenham grande capacidade de reprodução, sejam pouco exigentes, possuam alta flexibilidade, capacidade de recobrimento das margens e facilidade de brotação em caso de danos. As plantas que apresentem bom aspecto estético, e possam associar-se a outras espécies, também são desejáveis.

Para Cornellini e Sauli (2001) a engenharia natural utiliza técnicas de renaturação, que visam criar um ambiente apropriado para as espécies ou comunidades de plantas e animais. Para isso, as plantas vivas ou partes das mesmas, além de materiais de construção são empregados isoladamente ou em combinação com outros materiais.

2.4 A vegetação utilizada na engenharia natural

2.4.1 Propriedades biotécnicas

Como propriedades biotécnicas, entende-se a presença, nas plantas, de características favoráveis ao seu uso em Engenharia Natural.

Pinheiro (2000) afirma que “para o tratamento de superfície, o principal material empregado é a vegetação”. A cobertura vegetal desempenha um importante papel na proteção do solo e preservação de seus movimentos coletivos, principalmente por efeito do sistema radicular, que produz um reforço mecânico.

Como salientam Durlo e Sutili, 2005, a vegetação também tem grande influência no comportamento do ciclo hidrológico, interferindo na infiltração, no escoamento superficial e subterrâneo, no pico de vazão, no tempo de escoamento, na evapotranspiração, no armazenamento de água no solo e, especialmente, no ancoramento mecânico de taludes fluviais, tornando-se assim uma importante ferramenta para o manejo de cursos de água.

“A vegetação a ser estabelecida nas áreas em tratamento deve permitir maior infiltração e menor escoamento superficial da água, protegendo o talude contra a erosão laminar” (Pereira, 2011). O autor também ressalta que a escolha das espécies e sua quantidade são fatores decisivos na proteção contra os processos erosivos, sendo necessários conhecimentos técnicos que abrangem os aspectos climáticos, edáficos, fisiológicos e ecológicos das espécies a serem introduzidas.

Para Marchiori (2004), junto aos cursos de água adaptadas para suportar a força da correnteza ou eventual submersão por ocasião das enchentes, as reófitas (ou plantas reófilas) compõem uma comunidade singular de arbustos e arvoretas pequenas, providas de denso sistema radicular e caules delgados e flexíveis. São espécies de pequeno porte com ampla distribuição geográfica no estado do Rio Grande do Sul.

As características biotécnicas adequadas, segundo Sutili *et al.*(2004), são a possibilidade de reprodução vegetativa, a capacidade de suportar condições extremas (como submersão por períodos relativamente longos, aterramento e exposição parcial das raízes), o enraizamento denso, resistente e profundo. Outras

características biotécnicas da vegetação de grande interesse para a estabilização de margens de rios, são o pequeno porte da parte aérea, para não diminuir a secção de vazão e evitar o efeito de alavanca prejudicial ao talude, além da flexibilidade de caule e ramos, para suportar a força da água nas enchentes.

Sabe-se que, o efeito de proteção que as plantas realizam sobre as margens de cursos de água, se dá em grande parte ou principalmente pelas raízes. Em situações onde a vegetação sofre os efeitos da correnteza, a proteção pode também ser feita pelo caule e pelos ramos (parte aérea) que precisam ser flexíveis.

De acordo com Vollsinger et al. (2000), que desenvolveram estudos com várias espécies para o uso em engenharia natural na Áustria, nos locais em que a velocidade da água é alta, a flexibilidade torna-se fundamental, pois as plantas devem ter a capacidade de inclinar-se para recobrir os taludes marginais, protegendo-os, dessa maneira, contra o poder erosivo da água.

Segundo Denardi (2007), a região central do Rio Grande do Sul enquadra-se muito bem no referido caso, pois a água adquire velocidade ao escoar pelos íngremes taludes da Serra Geral, dando origem a processos fluviais de erosão, transporte e deposição de sedimentos nos trechos subseqüentes.

Florineth (2004) divide a vegetação da margem de cursos de água em três tipos: “vegetação flexível densa” que durante as enchentes protege fisicamente os taludes ao se curvar sobre os mesmos, “vegetação não-flexível densa”, que por sua abundância e pequenas dimensões, consegue reduzir a velocidade da água, diminuindo seu poder erosivo; e “vegetação não-flexível de plantas singulares”, composta por árvores isoladas que causam o turbilhonamento da água, sem reduzir sua velocidade, o que provoca, à jusante, focos de erosão.

Conforme Florineth e Gerstgraser (2000), deve-se dar prioridade a espécies nativas, por estarem mais bem adaptadas às condições edáficas e climáticas locais. Além disso, elas devem ser de fácil reprodução e baixo custo; espécies com boa capacidade de reprodução vegetativa são, normalmente, as ideais. Cabe destacar que plantas herbáceas e gramíneas também apresentam características que podem ser aproveitadas pela engenharia natural (Sutili, 2004).

Independentemente do local de origem da espécie e do seu gênero, é fundamental sua disponibilidade em quantidade e qualidade satisfatórias para seu emprego nas obras de engenharia natural. Para isso, as plantas utilizadas precisam desempenhar as características biotécnicas esperadas em cada situação particular.

2.4.2 Critérios para a escolha da vegetação

Como descrevem Durlo e Sutili (2005), é necessário estabelecer alguns parâmetros para se verificar a possibilidade da introdução de obras de bioengenharia em qualquer curso de água. Um destes é o critério para a escolha da vegetação:

a) Critério sociológico da vegetação: nas áreas de solos erodidos, encontram-se somente algumas comunidades iniciais, passando depois às comunidades de transição e posteriormente, às comunidades finais. Dessa forma, deve-se promover uma aceleração das sucessões, observando comunidades existentes nas proximidades e introduzindo as plantas da comunidade de transição e final de maior interesse para cada situação específica. Para isso, o conhecimento das características edáficas e climáticas do local é fundamental.

b) Critério ecológico: para apreciação das condições do hábitat, deve-se levar em conta os principais fatores ecológicos, tais como temperatura, umidade, condições químicas e físicas do solo. Fatores mais específicos como radiação, por exemplo, ou poluição – comum no meio urbano – embora pareçam menos importantes, podem ser limitantes para a eleição de determinadas espécies. Em razão da relação das plantas com o ambiente, por vezes é necessário que a escolha recaia, por exemplo, sobre espécies que sejam pouco exigentes em umidade, matéria orgânica, determinados nutrientes, pH, diferentes tipos de poluição etc., conforme seja um ou outro, o fator limitante.

c) Aspectos reprodutivos: tendo-se em vista que o manejo de cursos d'água trata de estabilizar, recuperar ou reabilitar áreas degradadas, e que este campo de trabalho localiza-se em sítios extremos, o tipo de reprodução dos vegetais a serem empregados, desempenha um papel de grande importância. Assim, para vegetar certos habitats, com freqüência torna-se obrigatório o uso de espécies com reprodução vegetativa no lugar daquelas que só se reproduzem por sementes.

d) Aptidão biotécnica: além de sobreviver no local, as plantas deverão ter a capacidade de solucionar os problemas técnicos existentes. Devem ser empregadas plantas que:

- Resistam à exposição parcial de suas raízes, em locais onde se prevê formas erosionais;
- Tenham sistema radicial que permita a fixação do solo (talude), quer pelo comprimento, volume, distribuição e resistência das raízes, ou pela interação destas características;
- Resistam ao aterramento parcial, em locais onde se prevê formas deposicionais;
- Resistam ao apedrejamento (oriundo de barrancas altas e declivosas);
- Tenham capacidade de brotar após quebra do ápice, ou corte intencional da parte aérea;
- Possuam, preferencialmente, a capacidade de se reproduzir por meios vegetativos;
- Apresentem alta ou baixa taxa de transpiração, em razão de se desejar ou aumentar a umidade da área em questão;
- Possuam crescimento rápido, e nos casos urbanos, resistam a poluição existente.

Naturalmente e sempre que possível, deverão ser eleitas às plantas que, juntamente com a proteção ou recuperação, proporcionem também o maior lucro possível pela produção de madeira, frutos ou outros subprodutos, e que promovam a diversidade da fauna e da flora que se instalará posteriormente à estabilização (DURLO; SUTILI, 2005).

Durlo e Sutili (2005) descrevem algumas espécies em potencial para serem usadas como ferramentas na estabilização de taludes fluviais: *Calliandra brevipes* (sarandi); *Calliandra tweedii* (quebra-foice); *Phyllanthus sellowianus* (sarandi ou sarandi-branco); *Pouteria salicifolia* (mata-olho, sarandi mata-olho); *Salix humbolditiana* (salseiro); *Sebastiania schottiana* (sarandi-negro, sarandi-vermelho e saranduba); *Terminalia australis* (amarelo). Nesse contexto, Sutili (2007) salienta a necessidade de se estudar, também, as características biotécnicas de ervas e gramíneas.

2.4.3 O *Hedychium coronarium* J. Köning.

A palavra *Hedychium* vem do grego e significa 'neve doce'. A palavra *coronarium*, do latim 'corona', significa 'coroa' (KISSMANN; GROTH, 1991).

“Na região sul do Brasil é reconhecida pelos nomes de lírio-do-brejo, cardamomo, cardamão, gengibre-branco, gengibre-do-mato” (SUTILI, 2007).

De acordo com Lorenzi (2006), é uma planta com propriedade ornamental, medicinal e útil na produção de fibras têxteis e celulose, é também entendida como daninha, quando invade, áreas úmidas, lagos, canais de drenagem e riachos. “Por outro lado, quando adequadamente empregada, pode ter suas características aproveitadas na proteção dos taludes fluviais” (SUTILI, 2007).

Sangalli (2008) afirma que a atuação da engenharia natural na restauração de margens de cursos de água compreende não só a atuação no controle da erosão com espécies vegetais vivas, mas também, a atuação visando aumentar a diversidade morfológica do trecho ou da seção do canal, oferecendo locais favoráveis ao desenvolvimento das comunidades de peixes.

Fiori e Carmignani (2001) afirmam que a cobertura vegetal desempenha importante papel na proteção do solo. As raízes e os rizomas da vegetação integram o solo para produzir um material composto, de forma que as raízes atuem como fibras resistentes à tensão de tração, de compressão ou de cisalhamento.

O *Hedychium coronarium* (Figura 8), caracteriza-se por ser uma herbácea perene, da família Zingiberaceae, rizomatosa, florífera, vigorosa, entouceirada, aromática, originária da Ásia Tropical e naturalizada nas Américas, de 1,5 a 2,0 m de altura. Hastes eretas, com folhas coriáceas, alongadas e tomentosas na face de baixo. Possui inflorescências terminais, com flores brancas, grandes, muito perfumadas, formadas praticamente o ano todo. Vegeta em lugares brejosos, a pleno sol. Cultivada como planta isolada e em conjuntos ou renques. Adequada para margens de lagos e espelhos d'água. Apresenta crescimento agressivo, sendo considerada por agricultores como planta invasora em solos agrícolas brejosos. Multiplica-se facilmente por divisão de touceira contendo rizoma (LORENZI; SOUZA 2001).



Figura 8 – *Hedychium coronarium* J. Köning.

Fonte: ROSCOE (1828 apud Sutili, 2007).

Segundo Kissmann e Groth (1991), o cardamomo apresenta parte aérea organizada em caule simples cilíndrico, avermelhado na base, folhas lanceoladas de distribuição alternada, inflorescência em espiga, com brácteas imbricadas, flores com corolas brancas ou amarelopálidas e estaminódios petalóides, os frutos maduros apresentam cor alaranjada, que contrasta com a cor vermelha do arilo das sementes. De acordo com Stone et al. (1992), a espécie apresenta tanto a reprodução sexuada, por formação de sementes, quanto a assexuada, pela produção de hastes aéreas a partir do rizoma, sendo que os fragmentos dos rizomas podem se dispersar pela água, nas bacias hidrográficas, podendo apresentar crescimento vegetativo em novas áreas.

Sutili (2007) comenta que o *Hedychium coronarium* se mostra capaz de suprimir a vegetação nativa, por isso deve ser empregado com ressalvas. Trata-se de uma planta de difícil erradicação, quando se desenvolve espontaneamente em grandes áreas. Mesmo assim, com fortes características de resistência, dominância e pioneirismo apresentadas por essa espécie, ela pode ser adequadamente utilizada em obras de bioengenharia.

“O clima desta região do Estado segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfa 2, variedade denominada subtropical” (MORENO, 1961), o que corresponde a condições climáticas úmidas, tendo precipitação anual próxima a 1700 mm, com chuvas distribuídas ao longo do ano. No entanto, nos meses de verão (Novembro a Março), que normalmente são quentes e apresentam um regime de ventos secos, podem ocorrer eventuais períodos de déficit hídrico. O município de Santa Maria apresenta a temperatura média do mês mais quente em torno de 24,8°C (janeiro) e, a temperatura média do mês mais frio ao redor de 14,1°C (julho), sendo que, a média anual oscila próximo dos 19°C.

De acordo com Barros Sartori (1979), a pluviosidade local é influenciada pelo relevo (Rebordo do Planalto), provocando o efeito orográfico direto sobre a cidade, que se traduz, muitas vezes, na precipitação forçada pelo contato das Frentes com as áreas elevadas do Planalto.

De acordo com Pontelli (1994 apud SUTILI, 2007) a formação geológica do Rebordo do Planalto pertence à seqüência sedimentar gonduânica, que preencheu a Bacia do Paraná (Formação Santa Maria, Caturrita e Botucatu) como também aos derrames fissurais do final do Jurássico e início do Cretáceo, representado pela formação Serra Geral, com uma seqüência inferior básica (basaltos) e uma superior ácida (granófiros e vitrófiros).

Segundo Moreno (1961), para este tipo de clima, as chuvas de verão apresentam diferentes características e conseqüências em relação às chuvas de inverno, estas são prolongadas e finas, enquanto que as de verão são em forma de fortes aguaceiros, que podem em apenas uma hora produzir tanta precipitação, como em uma semana de chuvas inverniais. Porém, no período de instalação do experimento (final de junho, início do mês de julho de 2011), as precipitações foram acentuadas, caracterizando um inverno chuvoso e frio.

Oliveira et al. (2006) dizem que com relação ao substrato geológico da bacia hidrográfica do arroio Cadena, (principal rio de Santa Maria com o arroio Cancela como um de seus afluentes), encontram-se rochas sedimentares lamíticas e areníticas das Formações Santa Maria, Caturrita e Botucatu, além da ocorrência de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. Sedimentos inconsolidados e terraços fluviais recentes são encontrados junto à planície de inundação ao longo do baixo curso do canal.

A vegetação da região central do Rio Grande do Sul pode ser dividida em Floresta Estacional Decidual, Campos, além da presença da Mata Ciliar ao longo

dos cursos de água. “A formação campestre que ocupa a Depressão Central é invadida por arbustos, originando os chamados campos grossos” (PORTO, 2002).

As matas ciliares encontram-se associadas à margem de rios e outros cursos d'água, compostas por espécies adaptadas para suportar a força da correnteza ou eventual submersão por ocasião de enchentes. Segundo Marchiori (2004) essa formação é conhecida como vegetação reófila, composta por uma comunidade particular de arbustos e árvores pequenas, geralmente sarandis ou amarelinhos, com ampla distribuição geográfica no Estado, predominando: *Sebastiania schottiana*, *Sebastiania brasiliensis*, *Calliandra brevipes*, *Terminalia australis*, *Phyllanthus sellowianus*, *Pouteria salicifolia* e *Salix humboldtiana*.

Na bacia hidrográfica do arroio Cadena, a vegetação original foi praticamente toda substituída por edificações decorrentes do processo de incorporação da bacia à área urbana do município. Apenas na porção de baixo curso e em algumas nascentes ainda podem ser encontrados resquícios da antiga cobertura vegetal. A mata ciliar também encontra-se em um avançado estágio de degradação, sendo encontrada em apenas alguns trechos (OLIVEIRA et al. 2006).

A vegetação ciliar, presente agora no local do experimento, é composta basicamente por salsos *Salix humboldtiana*, taquaras *Bambusa tuldoides* e mamonas *Ricinus communis*. Em um levantamento realizado anteriormente a execução do trabalho, o *Salix humboldtiana* foi a espécie arbórea mais abundante.

Em relação às características socioeconômicas da área do entorno, predomina o contraste entre casas de alto padrão e casebres situados em área de risco, reflexo da desigualdade social de Santa Maria. O que é comum entre estas duas faces é o descaso com o meio ambiente, pois, além do lixo e do perigo devido à localização de barracos no leito maior do curso de água, não se sabe se o esgoto das residências e dos condomínios próximos tem o destino adequado – a rede coletora da CORSAN (Compania Riograndense de Saneamento).

Das muitas visitas realizadas no local, uma destacou-se das demais, pois após um dia de chuva, a água encontrava-se na cor preta. Imagina-se que aquela situação não provinha somente dos efluentes das casas e condomínios, mas, do lançamento de resíduos de câmaras frias e outros dejetos, pela proximidade do arroio a um grande mercado e lancherias.

O foco deste trabalho é a recuperação ambiental do local por meio da intervenção física. Porém, não há como deixar de citar a realidade na qual encontra-se o arroio Cancela, mas esse é um assunto que deve ser discutido juntamente com

profissionais de outras áreas, para que além da revitalização ecológica melhore-se, também, a longo prazo, a qualidade da água do arroio.

3.2 Projeto de intervenção

3.2.1 Apresentação do problema

O ponto escolhido para a intervenção compreendeu uma porção do arroio Cancela, em um trecho suavemente curvo, com seu raio interno formando um talude instável devido à direção de embocadura das águas do terreno e da presença de touceiras de taquara plantadas sobre a margem, como mostra a seguir a Figura 10.



Figura 10 – Trecho escolhido. À direita: a presença de taquaras (*Bambusa tuldooides*) situadas sobre a margem a ser trabalhada. À esquerda: raio interno com depósito de sedimentos e lixo.

O volume de água, após fortes chuvas, contribuía para o carreamento de terra e forçava a deposição de materiais, de modo à alterar a geometria do canal por se tratar de um solo extremamente arenoso. O peso e o efeito de alavanca proporcionado pelas taquareiras, que eram “empurradas” junto à ponte que dá acesso ao parque (vide Quadro 1), estavam ocasionando o desmoronamento/deslizamento do barranco e posterior transporte de material, tornando o talude instável em toda sua extensão e mal visto por quem usufruía das benfeitorias do local.



Quadro 1 – Visão geral da área.

Este tipo de situação, para Sutili (2004), resulta provavelmente da ação da água sobre as touceiras de taquaras, uma vez que o peso da parte aérea gera uma sobrecarga, e o exagerado volume faz com que a força do vento seja transmitida ao talude, enfraquecendo-o e alavancando-o. Essa força não consegue ser contraposta pelo pouco profundo sistema radicial das taquaras/bambus. O talude torna-se mais alto que a profundidade média das raízes e a linha de ruptura se forma distante da ação destas. Nessa situação, as taquaras só contribuem para a perda de equilíbrio do talude. Com a reconstrução do talude e o chanframento final do barranco, pretende-se dar suporte ao desenvolvimento da vegetação, apoiada pela proteção física até que o tempo de enraizamento do material vegetal se consolide e isto seja suficiente para garantir a estabilidade da margem.

3.2.2 Parede vegetada de madeira – (Parede Krainer simples)

O trabalho a ser executado compreende três etapas: o arranquio das taquaras, a remodelagem do talude e basicamente a construção de uma parede Krainer simples (Figura 11,12 e 13), vegetada com *Hedychium coronarium*.

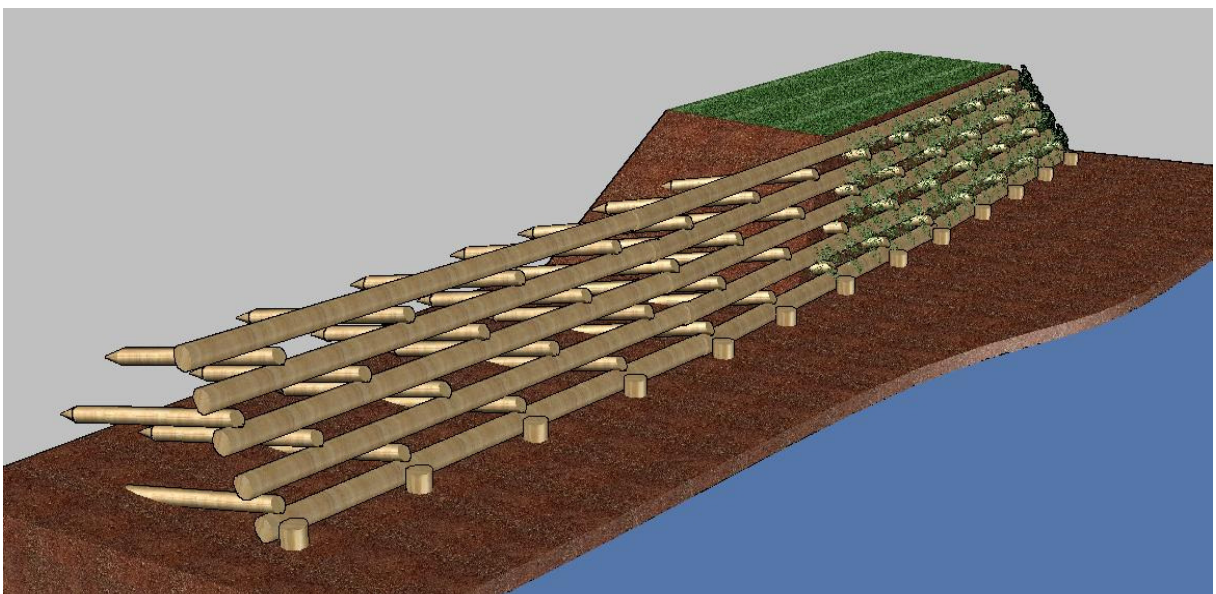


Figura 11 – Parede Krainer simples de 18 metros de comprimento composta por 15 longarinas, 13 pilotos e mais de 40 peças transversais.

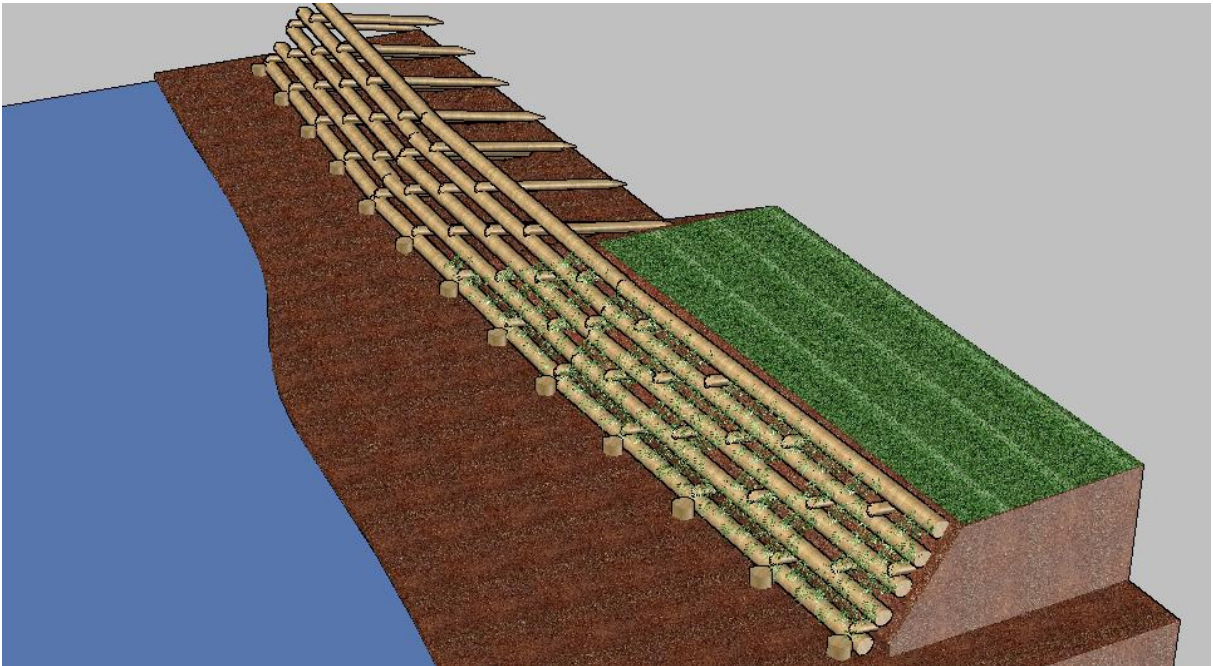


Figura 12 – Vista tridimensional da parede Krainer observada a partir da ponte de acesso ao parque da CACISM.

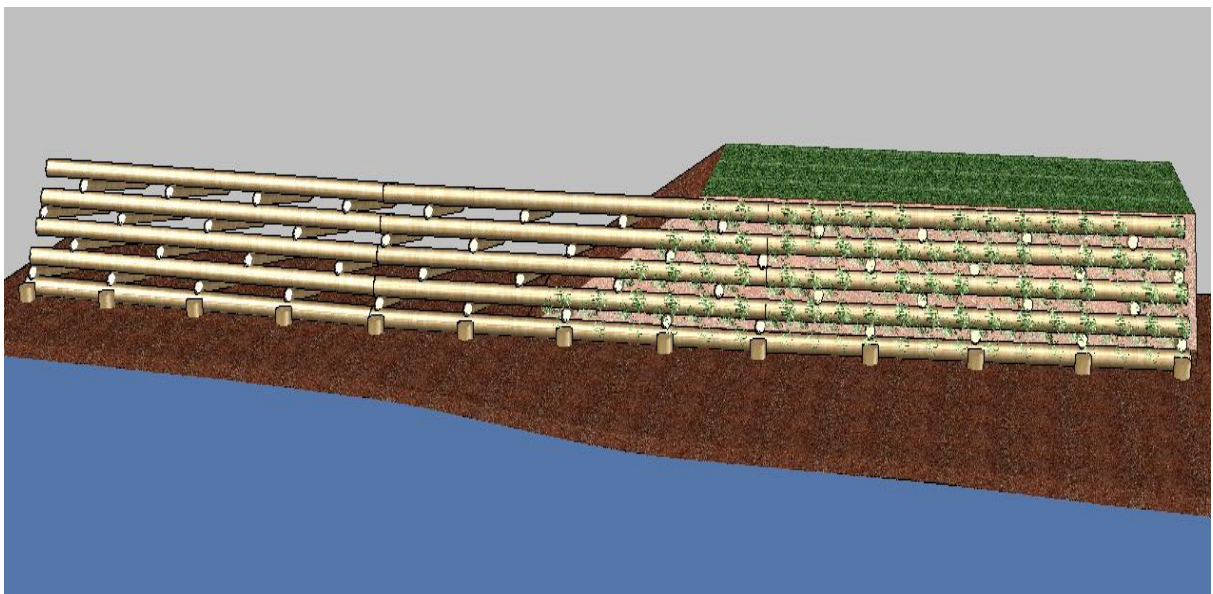


Figura 13 – Vista frontal da parede Krainer.

Conforme Sutili et al. (2004), Animoto (1978), FISRWG (1998), a intervenção física tem o objetivo de produzir as modificações mínimas necessárias no leito do

curso de água, readequando sua caixa, margem e barranca, visando proporcionar condições mais estáveis e modificar a distribuição da velocidade da água.

3.2.3 Detalhamento do trabalho

a) Obtenção dos materiais

A madeira utilizada na obra foi retirada de um povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pertencente ao Departamento de Ciências Florestais da UFSM. Foi usada para a construção da parede Krainer, devido a sua disponibilidade durante o período de trabalho e, pelo Eucalipto já ter sido empregado com sucesso neste tipo de intervenção. As toras estavam já há algum tempo derrubadas, faltando seu seccionamento e dimensionamento, realizado com motosserra, no dia 16 de Junho de 2011, conforme o Quadro 2:

Descrição	Quantidade	Diâmetro Ø (cm)	Comprimento (m)
Estacas (pilotos)	30	20 - 25	1,5
Longarinas	20	15 - 20	6,0
Peças transversais	40	10 - 15	2,0

Quadro 2 – Dimensionamento da madeira a ser utilizada na parede Krainer.

O carregamento da madeira ocorreu no dia 22 de Junho pela parte da manhã, 7 dias após o seu seccionamento. O local onde encontrava-se a pilha era de difícil acesso para veículos e havia chovido muito nos dias anteriores, por isso, o trabalho contou com o auxílio de uma retroescavadeira que baldeava as longarinas e demais peças junto ao local onde encontrava-se o caminhão que efetuara o transporte. Tanto a retroescavadeira quanto o caminhão foram cedidos pela UFSM, juntamente com funcionários para auxiliar a carregar a madeira, como pode-se observar a seguir, no Quadro 3:



Toras de eucalipto pertencentes ao Depto de Ciências Florestais da UFSM.



Seccionamento/dimensionamento da madeira com motosserra.



Carregamento da madeira com o auxílio de uma retroscavadeira.



Baldeio da madeira no local da obra (parque da CACISM).

Quadro 3 – Madeira utilizada na obra.

O material vegetal utilizado foi coletado no dia 28 de Junho, na região de Vale Vêneto, distante cerca de 40 km de Santa Maria.

Pode-se observar a seguir na Figura 14, que o habitat das plantas utilizadas neste trabalho apresenta algumas das características anteriormente citadas, tais como: a espécie vegetal em lugares brejosos e a pleno sol, cultivada em conjunto, próximo a um curso de água.



Figura 14: Exemplos de *H. coronarium* (cardamomo) utilizados no trabalho.

O trabalho foi efetuado por três pessoas, utilizando foice, picareta, enxada e enxadão. O transporte até o local da obra foi realizado com um caminhão caçamba da Secretaria Municipal de Proteção Ambiental de Santa Maria (SMPA), conforme Quadro 4.



Quadro 4 – Vegetação utilizada: *Hedychium coronarium* – cardamomo.

b) Execução do trabalho

O Quadro 5 apresenta a seqüência dos trabalhos realizados:

ATIVIDADES REALIZADAS	DATAS									
	30/06/11		01/07/11		04/07/11		05/07/11		06/07/11	
	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
Retirada das taquaras		6								
Corte e remodelagem do talude com retroescavadeira		6	2	3						
Remoção de terra, entulho, galhos e lixo		6		3						
Falquejamento dos pilotos		6								
Transporte e baldeio das longarinas		6								
Confecção dos feixes vivos			2	3						
Piloteamento na base do talude: "bate-estaca humano"					2	8				
Fixação da primeira linha de longarinas						8				
Amarração e colocação de pregos na estrutura						8	3	5	6	
Falquejamento das peças transversais						8	3	5	6	
Introdução das peças transversais no talude						8	3	5	6	
Introdução dos feixes de cardamomo nas gavetas							3	5	6	
Fixação da segunda e terceira linha de longarinas								5		
Fixação da quarta e quinta linha de longarinas									6	
Limpeza e recolhimento de materiais do local									6	

Quadro 5 - Atividades realizadas para a construção da parede Krainer.

Obs: M = Manhã; T = Tarde; Os números correspondem ao número de homens em cada turno.

As primeiras atividades estão expostas a seguir no Quadro 6:



Corte das taquaras com moto poda e facão. Início da remodelagem do talude.



Carregamento das touceiras, galhos e entulho, realizado por outra retroescavadeira.



Retroescavadeira retirando as touceiras das taquaras e reconstituindo o talude.



Pilotos falquejados com motosserra. Feito isso, foram transportados no caminhão.



Transporte da madeira até o local da obra através da pista de caminhada do parque.



Madeira sendo descarregada no local. Observa-se também as taquaras retiradas.

Quadro 6 – Atividades realizadas no dia 30 de Junho.

No dia 01 de Julho procedeu-se o corte do talude com retroescavadeira. Havia ainda, mais material a ser removido, serviço que pôde ser realizado somente ao final da tarde, pois não havia caminhões disponíveis. Foram necessárias sete cargas de caminhão-caçamba para retirar o restante do material proveniente da remoção das taquaras. Enquanto isso aproveitou-se o momento para confeccionar os feixes de cardamomo, utilizando fita e canivete (Quadro 7). As plantas eram amarradas em três pontos (próximo das raízes, um pouco acima e na base das primeiras folhas), com raízes dispersas por todo o feixe. Ao final do dia, todo o entulho havia sido levado do local, os feixes de cardamomo estavam prontos e o talude estava remodelado aguardando a construção da parede Krainer.



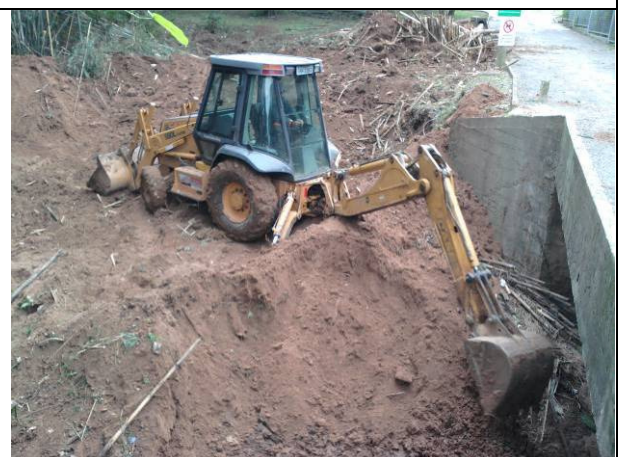
Retroescavadeiras removendo entulho.



Confecção dos feixes de cardamomo.



Remodelagem do talude e retirada de material.



Aspecto do talude junto à ponte que leva a pista de caminhada do parque.

Quadro 7 – Atividades realizadas no dia 01 de Julho.

Posteriormente, passado o final de semana, no dia 04 de julho, segunda-feira, deu-se início a construção da parede Krainer. Primeiramente foi realizado o piloteamento na base do talude a fim de dar suporte à primeira linha de longarinas. Os cardamomos, coletados dia 28 de junho, resistiram muito bem à exposição a geada durante 7 (sete) dias até serem introduzidos na estrutura.

Para que os pilotos pudessem ser fixados, fez-se um alinhamento distribuindo um piloto em média, a cada 1,5 metro. Com o uso de uma cavadeira manual, foi aberto um buraco para cada piloto, até o limite que se conseguiu trabalhar com aquela ferramenta. Optou-se pelos pilotos com maiores diâmetros, desconsiderando os demais. Ao todo, foram fixados 15 pilotos, no entanto, a parede ocupou 13, pois, devido a pouca experiência, durante a fixação da primeira linha de longarinas, alguns ajustes tiveram que ser feitos visando um melhor encaixe sendo que dois pilotos foram descartados, nada que comprometesse o trabalho. Ao serem colocados no seu respectivo ponto, os pilotos eram martelados na “cabeça” com outro piloto, manualmente, tentando produzir o efeito de um bate-estaca, como se pode observar abaixo no Quadro 8.



Quadro 8 – Piloteamento e primeira linha de longarinas.

Com os pilotos cravados na base do talude e a primeira linha de longarinas fixada e amarrada nos pilotos com arame e pregos grandes, partiu-se, no dia 05 de

Junho, terça-feira, para a colocação das demais linhas que formariam a parede, juntamente com as peças transversais (Quadro 9). Para isso, as varas eram roladas até a margem do curso de água, sendo que se prezou a utilização das mais grossas e retas. Para cravar as peças transversais no barranco, fizeram-se buracos a cada 2 metros com uma pá, logo após, cada peça transversal era cravada com o auxílio de uma marreta de 5 kg, o que danificou algumas peças.

Assim, as longarinas eram apoiadas nas peças transversais, essas, eram falquejadas com machado e também, muitas vezes, com motosserra, para facilitar o encaixe e a passagem do arame. Os feixes de cardamomo começaram a ser distribuídos nas “gavetas” formadas entre uma linha e outra de longarinas e cobertos com terra, dispostos com as raízes voltadas para a margem e as folhas em direção à jusante do arroio para uma maior fixação (Quadro 9).

Ao final do dia, haviam sido colocadas 2 linhas de longarinas, com os feixes de cardamomo preenchendo as gavetas. Todas as peças transversais já encontravam-se falquejadas e, para dar continuidade ao trabalho, viu-se a necessidade de mais 8 peças, estas, foram obtidas a partir de longarinas com menores diâmetros que sobraram, seccionadas com motosserra.

No dia 06 de Junho, quarta-feira, pela parte da manhã, o trabalho foi finalizado com a colocação de mais 2 linhas de longarinas e suas respectivas peças transversais.

Como visto, o projeto contou com o apoio da Prefeitura Municipal de Santa Maria, por intermédio da Secretaria Municipal de Proteção Ambiental, que cedeu funcionários que auxiliaram na mão-de-obra, durante todo o projeto. Também, forneceu ferramentas como pás, enxadas, enxadão, motosserra, facão, marreta, além da disponibilidade dos caminhões e das retroescavadeiras.

Cabe ressaltar ainda que a SMPA emitiu a licença ambiental da obra. No entanto, foi necessário um laudo da fauna e flora do local, juntamente com as possíveis medidas mitigatórias e compensatórias, o que atrasou consideravelmente o início do trabalho. Deve-se compreender que esse tipo de levantamento é desnecessário para uma atividade desse porte, que tem como objetivo recuperar o trecho e não causar um impacto ambiental. Sugere-se uma mudança na legislação municipal para um melhor enquadramento das obras de engenharia natural.



Piloteamento concluído e primeira linha de longarinas fixada com as peças transversais.



Peças transversais preparadas para a colocação da terceira linha de longarinas.



Preenchimento da estrutura com os feixes de cardamomo nas gavetas.



Peças transversais e longarinas falquejadas para facilitar o encaixe.



Vista à montante da parede Krainer (simples) compostas por 5 linhas de longarinas.



Vista da parede à jusante do arroio Cancela, junto a ponte de entrada do parque.

Quadro 9 – Construção da parede Krainer.

c) Monitoramento do projeto

Após o término da construção da parede Krainer, mais precisamente no dia 12 de Julho, foi necessário o trabalho de uma retroescavadeira por cerca de uma hora para nivelar o talude, como se pode observar abaixo na Figura 15:



Figura 15 – Terraplanagem do terreno.

O tempo não colaborou para a consolidação do terreno. No dia 16 de Julho, houve uma chuva muito forte em Santa Maria, com ventos acima de 100 km/h. Com isso, devido à forte enxurrada, formou-se uma valeta onde já havia sido constatado um desaguador natural anterior à obra.

A parede suportou bem o processo erosivo, adequando-se à força imposta pelo deslizamento. Assim, viu-se apenas como uma medida emergencial a utilização

de sacos de areia e uma lona plástica cobrindo a valeta, como mostra a seguir a Figura 16, até viabilizar a aquisição de leivas de grama.



Figura 16 – Valeta coberta com lona plástica emergencial de 12 x 4 metros.

Até a metade do mês de Agosto, a lona plástica permaneceu no local e a tarefa de canalizar e projetar a água por cima da parede foi eficiente. No dia 18 deste mesmo mês, foi adquirido 50 m² de leiva de grama de jardim. Esta metragem foi colocada sobre o local onde estava a lona plástica, mesmo com condições climáticas não favoráveis, ou seja, com chuva. As leivas foram fixadas com estacas de taquarinhas, pois havia receio de que a instabilidade permanecesse (como realmente aconteceu nos dias posteriores) e removesse as leivas do local.

No dia 26 de Agosto, mais 50 m² de leiva de grama foram colocados na parte adjacente àquela leiva colocada anteriormente. Além disso, foram feitos “desaguadores” objetivando dividir toda a água do terreno que era direcionada para um único ponto. Com isso, pelo menos a água provinda da pista de caminhada foi

interceptada pelos desaguadores artificiais que, recobertos de leivas, direcionaram-na para outro ponto, diminuindo sua velocidade e como consequência, seu poder erosivo.

Ao todo, foram utilizados 100 m² de leivas ao custo de R\$ 5,00 o metro quadrado, totalizando R\$ 500,00. Para realização dessas tarefas, foram utilizadas ferramentas como facão, pá, enxada e martelo de borracha para fixação das estacas, além de carrinho para o transporte das leivas. Todas estas ações podem ser vistas abaixo no Quadro 8:



Quadro 10 – Enleivamento do terreno para correção do processo erosivo.

Tendo esta ação concretizada, observou-se que mesmo com a colocação das leivas, o monitoramento das águas do terreno precisava ser constante após cada chuva, até o período de enraizamento da vegetação. Assim, mais duas ações corretivas foram necessárias no local onde se formou a valeta, junto à parede, porém, foram tarefas rápidas e simples: colocação de pedras e preenchimento com terra e grama.

Foi necessária, também, a aplicação de veneno para o controle da formiga cortadeira. O produto utilizado foi o defensivo Klap, aplicado no formigueiro, no carreiro e dispersado por toda a parede. Uma única aplicação foi suficiente para o combate da formiga.

Enfim, partiu-se para a observação do desenvolvimento da vegetação, uma vez que o tempo começou a melhorar no mês de Setembro, coincidindo com o surgimento dos primeiros brotos de *Hedychium coronarium*, como pode-se observar na Figura 17. Não somente na parede, mas em outros pontos do terreno onde alguma raiz ficou dispersa, o cardamomo também começou a brotar. As leivas de grama mostraram-se vigorosas e suportaram bem a ação de novas precipitações, no entanto é necessário ainda, melhorar a distribuição das águas na parte do terreno acima da parede Krainer para que nas épocas de maiores precipitações, os efeitos sejam minimizados.



Figura 17 – Primeiros brotos de *Hedychium coronarium* 60 dias após o término do trabalho.

d) Custos da intervenção

A seguir, é apresentado no Quadro 11, um detalhamento dos custos dos materiais empregados para a construção da parede Krainer, englobando materiais construtivos, vegetativos e serviços. Entretanto, cabe destacar que toda a madeira utilizada foi cedida pelo Departamento de Ciências Florestais da UFSM, logo, os valores estão colocados de acordo com o valor de mercado para fins de conhecimento. Não houve custo para a aquisição do cardamomo, sendo que o frete foi realizado pela SMPA. O licenciamento ambiental de todo o projeto também foi custeado pela SMPA, ficando apenas o valor da ART.

Material Construtivo	Quant.	Valor unit. (R\$)	Total (R\$)
Estacas (pilotos)	13	15,00	195,00
Longarinas	15	50,00	750,00
Peças transversais	40	10,00	400,00
Arame Galvan. Liso 3,4 mm	1	6,20	6,20
Arame Galvan. Liso 1,24 mm	1	7,80	7,80
Prego Gerdau Comum 24 x 66 mm	3	6,10	18,30
Prego Gerdau Comum 25,72 mm	1	6,10	6,10
Grampos de cerca	2	2,96	5,92
Fita ráfia / película	1	11,00	11,00
Facão	1	14,95	14,95
Martelo de borracha	1	12,20	12,20
Pá de corte	1	19,50	19,50
Enxada	1	18,50	18,50
Serviços			
Hora/máquina	10	90,00	900,00
Material Vegetal			
Leivas de grama	100 m ²	5,00	500,00
Licenciamento ambiental			
ART	1	33,00	33,00
			Total: R\$ 2887,32

Quadro 11 – Custo dos materiais adquiridos - Parede Vegetada de Madeira.

Como foram construídos 20 metros, chega-se a um custo aproximado de R\$ 144,00 por metro linear de correção ou (altura da parede 1,20 m) R\$ 120/m², fora a mão de obra.

A prevenção é sempre melhor, por isso, tenta-se reduzir ao máximo a construção de obras caras. No entanto, quando o estrago provocado pela erosão é tamanho que não permite a revitalização da área por meio da simples implantação da vegetação, a realização de obras longitudinais e transversais, com madeira, alvenaria ou pedra, torna-se inevitável para o favorecimento do cultivo das espécies protetoras em muitos locais onde não há mais cobertura vegetal. Tais áreas exigem a criação de outros mecanismos como as obras de engenharia natural, que as revigorem e protejam.

3.3 Esquema para a análise do comportamento do *Hedychium coronarium*

Para analisar a brotação do *Hedychium coronarium*, a parede Krainer foi dividida em três parcelas, como mostra a Figura 18:



Figura 18 – Esquema do experimento mostrando as parcelas e os tratamentos na parede Krainer.

Cada parcela possui 6 metros de extensão. A parcela “A” compreende a seção próxima à ponte; a parcela “B” localiza-se no centro da parede e a parcela “C”

encontra-se mais a montante do arroio Cancela. Cada parcela foi submetida a 3 tratamentos, sendo: T1 – linha d’água; T2 – meio da parede e T3 – alto do talude.

No dia 06 de outubro, 90 dias após a implantação do experimento, efetuou-se a contagem das brotações do cardamomo. Justifica-se uma única contagem porque a partir desse momento as plantas cobriram toda a parede, não sendo mais possível a repetição do processo com a mesma precisão, além disso, um mês depois da contagem, alguns brotos localizados acima do talude foram cortados por funcionários encarregados da manutenção do parque, por conta própria.

Os valores foram calculados por metro linear. Para explicar os valores do número de brotos por metro linear, tomou-se como base cada longarina de 6 metros de comprimento. Como exemplo têm-se o T1 (linha d’água) na Parcela A, com o valor de 56 brotações. Nesse caso, os brotos contados emergiram abaixo da primeira longarina (6 metros lineares), acima desta (6 metros lineares) e abaixo da segunda longarina da parede Krainer (mais 6 metros lineares), totalizando 18 metros lineares (Figura 19). Dessa forma, 56 brotações em relação a 18 metros lineares resultam em 3,11 brotações por metro linear.

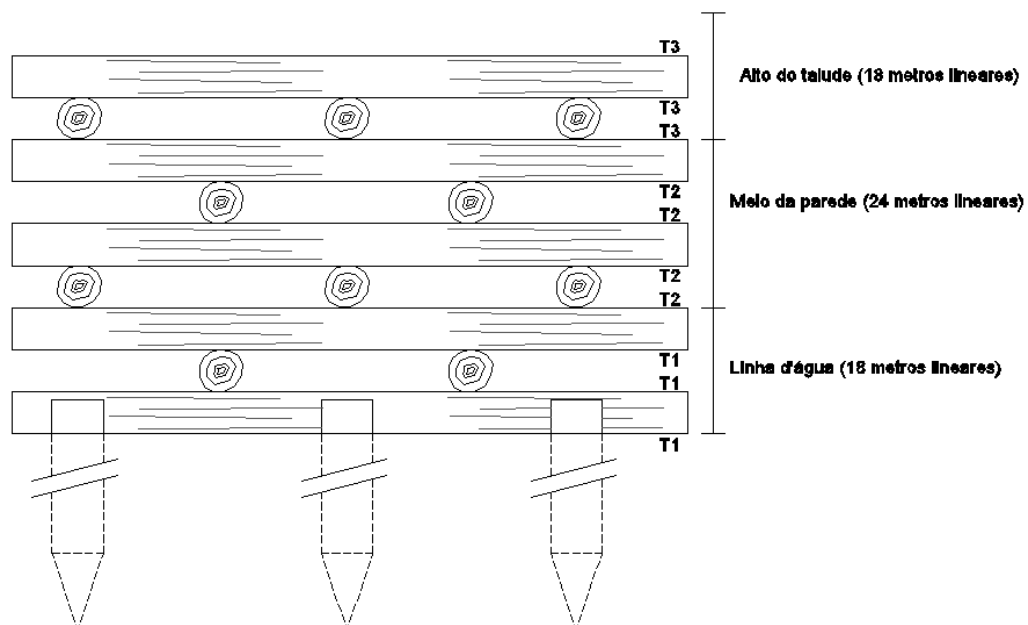


Figura 19 – Croqui dos tratamentos em uma parcela da parede Krainer (vista frontal).

Outros 18 metros lineares são base de cálculo para o T3 (alto do talude). Para o T2 (meio da parede) têm-se 24 metros lineares, pois as brotações são contadas acima da segunda, abaixo da terceira, acima da terceira e abaixo da quarta longarina, desse modo, como exemplo, no T2 na Parcela A, 135 brotações em relação a 24 metros lineares resultam em 5,63 brotações por metro linear.

Para a análise dos dados foi utilizado o programa estatístico SPSS, versão 17.0. Com o objetivo de apurar a existência ou não de diferença significativa entre as médias dos tratamentos, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) e aplicado o teste de Duncan em 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estatística descritiva

4.1.1 Brotações por metro linear em cada tratamento.

	Número de Brotos por Metro Linear			
Tratamento	Parcela C	Parcela B	Parcela A	MÉDIA
Linha d'água	3,33	4,50	3,11	3.65

Quadro 12 - Tratamento 1 (T1) – Linha d'água.

O tratamento “linha d'água” teve seu valor máximo de 4,50 brotações por metro linear. Neste ponto os feixes não sofreram problemas relacionados à erosão e foram beneficiados pela boa luminosidade do local e umidade do solo. O valor mínimo de 3,11 brotações por metro linear é admissível, devido ao ataque de formigas durante o surgimento dos primeiros brotos de cardamomo. O valor intermediário de 3.33 brotações por metro linear está localizado em um local que sofreu com problemas de erosão, e, devido à presença de árvores de grande porte, as horas de luminosidade eram menores que nas outras parcelas.

O tratamento “linha d'água” obteve uma média de 3,65 brotações por metro linear (Quadro 15).

	Número de Brotos por Metro Linear			
Tratamento	Parcela C	Parcela B	Parcela A	MÉDIA
Meio da parede	2,75	1,88	5,63	3,42

Quadro 13- Tratamento 2 (T2) – Meio da Parede.

O tratamento “meio da parede” mostrou o valor máximo de 5,63 brotações por metro linear. Neste ponto da parede a luminosidade é mais intensa e não houve problemas de erosão. Este local pode ser considerado como o ponto de melhor desenvolvimento das brotações aos 90 dias de instalação do experimento pelo vigor e rapidez de enraizamento, mostrado pelas plantas. O valor mínimo de 1,88 brotações por metro linear deve-se a formação da valeta atrás das linhas da parede Krainer. Este fato retardou o início das brotações, uma vez que o solo foi removido e depositado no leito do arroio, deixando as raízes das plantas expostas por cerca de 4 semanas de chuvas intensas atrasando seu enraizamento. Porém, nenhum feixe de planta foi retirado da estrutura. O valor intermediário de 2,75 brotações por metro linear também pode ser explicado pela baixa luminosidade e erosão atrás das linhas da parede.

O tratamento “meio da parede” obteve uma média de 3,42 brotações por metro linear (Quadro 15).

Tratamento	Número de Brotos por Metro Linear			MÉDIA
	Parcela C	Parcela B	Parcela A	
Alto do talude	1,39	0,89	0,94	1,07

Quadro 14 - Tratamento 3 (T3) – Alto do Talude.

O tratamento “alto do talude” teve seu valor máximo de 1,39 brotações por metro linear. O número maior de brotos provem de feixes que foram colocados “em pé” e enraizaram-se rapidamente em um buraco aberto por um piloto que fazia parte da estrutura, mas que não foi utilizado e decidiu-se tapar.

O tratamento “alto do talude” obteve uma média de 1,07 brotações por metro linear (Quadro 15).



O tratamento Linha d'água obteve a média de 3,65 brotações por metro linear.



Vê-se aqui as brotações do cardamomo na 1ª longarina, junto a linha d'água.



O tratamento Meio da parede obteve a média de 3,42 brotações por metro linear.



Observa-se as brotações do T2 entre a 2ª e a 3ª longarinas da Parede Krainer.



O tratamento Alto do talude obteve a média de 1,07 brotações por metro linear.



Observa-se algumas brotações do T3 a partir da 5ª longarina, junto ao talude.

Quadro 15 – Brotações de *Hedychium coronarium* em cada tratamento.

4.1.2 Relação das brotações entre tratamentos.

O Quadro 16 apresenta as diferenças entre as médias dos tratamentos:

Tratamento	Número de Brotos / Metro Linear			SOMATÓRIO	MEDIA
	Parcela C	Parcela B	Parcela A		
Alto do talude	1,39	0,89	0,94	3,22	1,07b*
Meio da parede	2,75	1,88	5,63	10,26	3,42ab
Linha d'água	3,33	4,50	3,11	10,94	3,65a

* Valores com letras minúsculas diferentes na vertical diferem entre si em 5% de probabilidade de erro pelo teste de Duncan.

Quadro 16– Diferenças significativas das médias entre tratamentos.

Verificou-se que existe diferença significativa entre o T1 Linha d'água em relação ao T3 Alto do talude, porém, ambos os tratamentos não diferiram estatisticamente do T2 Meio da parede. Isso pode ser explicado devido à umidade do solo ser maior junto à linha d'água e em alguns pontos um pouco acima, onde as plantas enraizaram com maior facilidade.

4.2 Considerações sobre o desenvolvimento do *Hedychium coronarium*.

Pode-se considerar o plantio junto à linha d'água como a melhor recomendação. Junto à linha d'água o *Hedychium coronarium* mostrou um enraizamento denso e a maior média de número de brotos por metro linear. Assim, vê-se que o cardamomo têm um melhor desenvolvimento em locais úmidos, preferencialmente encharcados, condições típicas dos arroios urbanos de Santa Maria.

Apesar de ter sido realizada somente uma única contagem das brotações, aos 90 dias, os dados foram relevantes para apurar quais são as condições

ambientais que o cardamomo necessita para ser empregado em obras de engenharia natural, são elas:

- proximidade a linha d'água;
- boa luminosidade;
- solos úmidos ou encharcados (não necessita de solos férteis);
- necessita de tratos culturais (combate a formiga).

A partir dos 90 dias da instalação do experimento, as plantas iniciaram a tarefa de estabilizar a margem com eficiência, tendo um auxílio fundamental das leivas de grama colocadas sobre o talude e a divisão das águas do terreno.

4.3 Estabilização do talude

A seguir, na Figura 20, observa-se a situação atual da parede Krainer e o talude estabilizado.



Figura 20 – Parede Krainer vegetada com *Hedychium coronarium* e o talude estabilizado com leivas de grama, 150 dias após o término da intervenção.

A parede Krainer, dimensionada para resistir à força da água do arroio, também obteve êxito e provou ser resistente a enxurrada por trás de suas linhas, uma vez que nenhum feixe de planta foi removido. Com as devidas correções e monitoramento da obra semanalmente, a estrutura foi trabalhando em conjunto com o terreno e, com o passar do tempo e o enraizamento do cardamomo, ocorreu à estabilidade do talude. As leivas de grama consolidaram o solo para que não sofresse a ação direta da gota da água da chuva e também, devido ao enleivamento do talude, as águas que eram direcionadas pelo caimento do terreno, diminuíram de velocidade, encharcando primeiramente o solo, até chegar à parede.

5 CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Com base no estudo da recuperação experimental de um trecho de curso de água com técnicas de engenharia natural, foi possível elaborar as seguintes conclusões:

- Tratou-se de um trabalho pioneiro utilizando a Engenharia Natural como ferramenta para a estabilização da margem de um curso de água em Santa Maria. Até agora, não haviam pesquisas realizadas na área urbana do município, sendo que, neste projeto, os dados foram obtidos a campo, diferentemente dos vários trabalhos executados em canteiros experimentais com condições controladas.
- O plantio junto à linha d'água foi a melhor posição. Junto à linha d'água o *Hedychium coronarium* mostrou um maior número de brotações, tendo a média de 3,65 brotações por metro linear.
- Ao avaliar o potencial biotécnico do *Hedychium coronarium*, a condução do experimento possibilitou a comprovação de que esta espécie herbácea pode ser utilizada pela engenharia natural, sendo aconselhável testar outras espécies em conjunto.
- É fundamental a realização do monitoramento contínuo do trabalho, uma vez que as biotécnicas, logo que implantadas, necessitam de um período de tempo para exercerem a estabilização dos locais e eventualmente necessitam de pequenos ajustes e complementação.

- A época em que o experimento foi executado não era a ideal, sabia-se disso, no entanto, devido à disponibilidade de recursos, realizou-se o trabalho mesmo assim. Enfatiza-se aqui, como já é descrito na literatura que, para uma melhor adaptação da estrutura inerte e do material vegetal empregado, deve-se dar preferência para períodos em que o solo não esteja friável e as condições climáticas sejam mais favoráveis.

- É necessária uma mudança na legislação ambiental municipal para que as obras de engenharia natural sejam vistas como um instrumento para a recuperação de margens de rios e áreas degradadas. Com isso, espera-se que as licenças ambientais sejam simplificadas, pois a Engenharia Natural visa à minimização dos impactos ambientais anteriormente criados e não criá-los.

- Este estudo teve como foco a recuperação ecológica do trecho do arroio Cancela, localizando no Parque da CACISM, no centro da cidade. Dessa forma, com a atuação conjunta do poder público e da iniciativa privada, moradores e pessoas da comunidade, vizinhas ao parque, puderam observar uma forma de recuperação ambiental inovadora.

- Este trabalho foi selecionado pela UFSM e exposto na FEISMA, multifeira de Santa Maria. Com isso, possibilitou o surgimento de outros trabalhos que estão sendo desenvolvidos por alunos do curso de Graduação em Engenharia Florestal da Universidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANIMOTO, P. Y. **Erosion and sediment control handbook**. Sacramento, State of Califórnia: Department of Conservation, 1978. 197p.

BANDEIRA, A. A. **Evolução do processo erosivo na margem direita do Rio São Francisco e eficiência dos enrocamentos no controle da erosão no trecho em estudo**. 2005. 155p. Dissertação (Mestre em desenvolvimento e meio ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2005.

BARBOSA, P. S. F. O gerenciamento dos recursos hídricos no estado de São Paulo. **Revista de Administração**. v. 32, n.1, 1997. p. 47 – 57.

BARROS SARTORI, M. da G. **O Clima de Santa Maria: do regional ao urbano**. 1979. 165p. Dissertação (Mestre em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

BEGEMANN, W.; SCHIECHTL, H. M. **Ingenieurbiologie – Handbuch zum ökologischen Wasser und Erdbau**. 2. neubearbeitete Auflage. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GMBH, 1994. 203p.

BINDER, W.; WAGNER, J. Rückbau von Fließgewässern. In: **Umweltschutz-Grundlagen und Praxis, Schutz der Binnengewässer**. v. 5, ed. Buchwald, K. und Engelhardt, W., Economica Verlag, Bonn, Alemanha 1994. 41p.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Elementos de Engenharia de Sedimentos. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia – ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS Ed. Da Univ., ABRH, EDUSP, 1993. 952p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Ed. USP, 1974. 149p.

CORNELINI, P.; SAULI, G. L'ingegneria naturalistica nelle aree mediterranee. In: BIFULCO, C. **Interventi di Ingegneria Naturalistica nel Parco Nazionale Del Vesuvio**. Ente Parco Nazionali de Vesuvio, San Sebastiano al Vesuvio (Napoli) 2001. p. 71 – 88.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia – uma atualização de bases e conceitos**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2001. p. 211 – 252.

DENARDI L. **Anatomia e Flexibilidade do Caule de Quatro Espécies Lenhosas para o Manejo Biotécnico de Cursos de Água.** 2007. 112p. Tese (Doutor em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

DURLO, M. A. Biotécnicas no manejo de cursos de água. **Ciência & Ambiente.** Santa Maria, v. 21, n. 2, 2000. p. 81 – 90.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. Manejo biotécnico de cursos de água: I – Intemperismo e erosão, II – Escavação e transporte de materiais. UFSM/CCR, **Caderno didático 10.** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

_____. Manejo biotécnico de cursos de água: tratamento longitudinal. UFSM/CCR, **Caderno didático 11.** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

_____. Uso da bioengenharia na estabilização de um talude fluvial. In: 3º SIMPÓSICO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL. 2004, p. 312-323. Universidade Federal de Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, 2004.

_____. **Bioengenharia:** manejo biotécnico de cursos de água. Porto Alegre: EST, 2005. 189p.

FERNANDES, J. P. Engenharia Natural: uma engenharia para construir sustentabilidade. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO E DO CARIBE SOBRE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA. 2009. 58p. **Anais...** Curitiba, 2009.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. Influência da vegetação na estabilidade de taludes. In: **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas:** aplicações na estabilidade de taludes. Curitiba: Ed. da UFPR, 2001. cap. 8, p. 295 – 318.

FISRWG. **Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices.** By the Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG). 15º Federal agencies of the US gov't, 1998.

FLORINETH, F.; GERTSGRASER, C. **Ingenieurbiologie.** Wien: Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie. Universität für Bodenkultur, 2000.

FLORINETH, F. **Pflanzen statt beton:** handbuch zur ingenieurbiologie und vegetationstechnik. Berlin-Hannover: Patzer Verlag, 2004. 272p.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D. **Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia do Arroio Cancela – RS.** GHIDROS — Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 169p.

GOOGLE EARTH. **Imagens de satélite.** Santa Maria, 2012. Disponível em: <<http://earth.google.com>>. Acesso em: 30 mar. 2012.

GOMES, L. G. N.; HOLANDA, F. S. R.; ANJOS, I. R. dos; ROCHA, I. P. Bioengenharia na estabilização de talude marginal e restauração ambiental da margem no baixo curso do Rio São Francisco. In: Congresso de Ecologia do Brasil, 7, 2005, Caxambu. **Anais...** Caxambu: CEB, 2005. CD Rom.

GONTIJO, N. T.; CAMPOS, R. G. D.; CANÇADO, V. L. **Renaturalização de cursos de água.** Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. 40p.

GRAY, D. H.; LEISER, A. T. **Biotechnical Slope Protection and Erosion Control.** Florida: Krieger Publishing Company Malabar, 1982. 271p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010 para o município de Santa Maria, RS.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 19 set. 2011.

KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas.** São Paulo: Basf Brasileira, 1991. p. 590 – 593.

LORENZI, H.; SOUZA 2001. **Plantas ornamentais no Brasil.** Arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 3 ed. São Paulo: Nova Odessa, Plantarum. 2001.1082p.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas.** 6. ed., São Paulo: Nova Odessa, Plantarum. 2006. 240p.

MACEDO, J. F. O gênero *Hedychium koening* (Zingiberaceae) no Estado de Minas Gerais. **Daphne**, v. 7, n. 2, 1997. p. 27 – 31.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul:** campos sulinos. Porto Alegre: EST, 2004. 110p.

MAKSIMOVIC, C. **General Overview of Urban Drainage Principles and Practice. Urban Drainage in Specific Climates (IHPV- Technical Documents in Hydrology)**. Paris: UNESCO, Vol.1, n.40, 2001. p.1 – 21.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.

MORGAN, R. P. C. **Slope Stabilization and Erosion Control** – a bioengineering approach. London: E & FN Spon, 1995. 274p.

NETTO, A. L. C. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2001, p. 93 – 148.

OLIVEIRA, E. L. A; RECKZIEGEL, B. W; ROBAINA, L. E. S. Modificações na morfologia dos canais de drenagem da bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria/RS. **Revista Raega**. Curitiba, n. 11. Editora UFPR, 2006. p. 103 – 113.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle da erosão**. Disponível em: <<http://www.deflor.com.br>>. Acesso em 20 set 2011. 88p.

PINHEIRO, R. J. B. **Estudo de alguns casos de instabilidade a encosta da Serra Geral no Estado do Rio Grande do Sul**. 2000. 340p. Tese (Doutor em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básilca**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda/MEC. 1976. 38p.

PONTELLI, M. E. O. **Rebordo do Planalto na Região de Santa Maria**: um estudo geomorfológico. Monografia (Especialista em geociências). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.1994.

PORTO, M. L. Os campos sulinos: sustentabilidade e manejo. **Ciência & Ambiente**. Santa Maria, v. 24, n. 1, 2002. p. 119 – 138.

RIRLEY, A. L. **Restoring streams in cities**: a guide for planners, policy makers and citizens. Washington DC: Island Press, 1998. 423p.

ROBAINA, L. E. S.; MEDEIROS, E. R.; CASSOL, R. Unidades de Lanforms na Bacia do Arroio Cadena, Santa Maria - RS. **Ciência & Natura**, Santa Maria: Editora da UFSM, n. 24, 2002. p.139 – 152.

SANGALLI, P. Técnicas de ingeniería biológica utilizadas en la restauración fluvial. In: ARIZPE, D.; MENDES, A.; RABAÇA, J. E. **Áreas de ribera sostenibles: una guía para su gestion.** p. 192 – 197. (2008). Disponível em: <<http://www.cma.gva.es/web/indice.aspx?nodo=71596&idioma=V>>. Acesso em: 30 mar. 2012.

SCARIOT, N.; PIRES, C. A. F.; ROBAINA, L. E. **Processos de Riscos Ambientais Associados a Desastres Naturais no Município de Santa Maria – RS.** In: X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Rio de Janeiro: Editora UERJ, 2003.

SCHIELTZ, H. M.; STERN, R. **Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control.** Oxford: Blackwell Science, 1996. 186p.

STONE, C. P.; SMITH, C.W.; TUNISON, J.T. (Eds). **Alien plant invasions in native ecosystems of Hawaii: management and research.** Honolulu: University of Hawaii, Cooperative National Park Resources Study Unit, 1992. 887p.

SUTILI, F. J.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Potencial biotécnico do sarandi-branco (*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.) e vime (*Salix viminalis* L.) para revegetação de margens de curso de água. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, 2004. p. 13 – 20.

_____. Hidrografia de Santa Maria. **Ciência & ambiente**, Santa Maria: Palloti, n. 38, 2009. p.79 – 82.

SUTILI, F. J. **Manejo biotécnico do arroio Guarda-Mor: princípios, processos e práticas.** 2004. 114p. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2004.

_____. **Bioengenharia de solos no âmbito fluvial do sul do Brasil: espécies aptas, suas propriedades vegetativo-mecânicas e emprego na prática.** 2007. 95p. Tese (Doutor em Engenharia Natural) – Instituto de Bioengenharia de Solos e Planejamento da Paisagem, Universidade Rural de Viena, Viena, Áustria. 2007.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F.; **Decifrando a Terra**, São Paulo: Oficina de Textos, 2000. Reimpressão, 2001. p. 192 – 214.

TUCCI, C. E. M., BERTONI, J. C. **Inundações urbanas em América Latina**. ABRH-Ed.UFRGS, Porto Alegre, RS. 2003. 474p.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. **Águas doces no Brasil**, São Paulo: Escrituras, 2006. 3ª ed. p. 399 – 432.

TUNISON, T. **Element Stewardship Abstracts**. The Nature conservancy. Virginia. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582005000200002 >. Acesso em: 08 set. 2011.

VOLLSINGER, S.; DOPPLER, F.; FLORINETH, F. **Ermittlung des stabilitätsverhaltens von Ufergehölzen in Zusammenhang mit Erosionsprozessen an Wildbächen**. Wien: Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2000. 107p.

WOLLE, C. M. Mecanismos de instabilização de Encostas na Serra do Mar. In: ENCONTRO TÉCNICO – ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1988, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 1988. p.16-36.