



**UFSM**

**Dissertação de Mestrado**

**MANEJO BIOTÉCNICO DO ARROIO GUARDA-MOR:  
PRINCÍPIOS, PROCESSOS E PRÁTICAS**

---

**Fabício Jaques Sutili**

**PPGEF**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2004**

**MANEJO BIOTÉCNICO DO ARROIO GUARDA-MOR:  
PRINCÍPIOS, PROCESSOS E PRÁTICAS**

---

**por  
Fabrício Jaques Sutili**

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.**

**PPGEF**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2004**

**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

**MANEJO BIOTÉCNICO DO ARROIO GUARDA-MOR:  
PRINCÍPIOS, PROCESSOS E PRÁTICAS**

elaborada por

**Fabício Jaques Sutili**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. Miguel Antão Durlo (Presidente / Orientador)**  
- Manejo de Bacias Hidrográficas -

---

**Prof. Dr. José Newton Cardoso Marchiori**  
- Fitogeografia -

---

**Prof. Dr. Thomé Lovato**  
- Manejo e Conservação do Solo -

---

**Prof. Dr. Delmar Antonio Bressan**  
- Ecologia Florestal -

Santa Maria, 28 de maio de 2004

Esse trabalho utilizou bolsa de estudos concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (**CAPES**) e foi apoiado com recursos financeiros da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (**FAPERGS**) e da Academia Austríaca de Ciências (**Österreichische Akademie der Wissenschaften**).

---

S966m Sutili, Fabrício Jaques

Manejo biotécnico do arroio Guarda-mor: princípios, processos e práticas / Fabrício Jaques Sutili; orientador Miguel Antão Durlo. – Santa Maria, 2004.

114 f.: il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

1. Cursos de água 2. Taludes fluviais 3. Vegetação reófila 4. Engenharia biotécnica 5. Bioengenharia 6. Engenharia Florestal I. Durlo, Miguel Antão, orient. II. Título.

CDU : 556.51:630.23

---

Ficha catalográfica elaborada por Luiz Marchiotti Fernandes CRB-10/1160  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais / UFSM

Dedico, com carinho,  
ao meu avó **Guilherme Sutili**.

## AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, à **Universidade Federal de Santa Maria**, minha casa, pela estrutura física e humana, que proporcionou o aprendizado e tornou possível o convívio com:

meus colegas Marcelo, Loivo, Luiz Henrique, Luciano, Rafaelo, Márcio, Jonas, Fabiano e Robson, de quem guardo as melhores lembranças;

os grandes amigos Darci e Luciane, sem os quais, este e outros trabalhos teriam sido muito mais difíceis;

especialmente, a Luziane;

os colegas Werner e Kathrin, de quem restou aprendizado e amizade, como resultado de quatro meses de convívio e trabalho;

os queridos mestres, Dr. Delmar Bressan e Dr. José Newton Cardoso Marchiori, com quem o convívio trouxe mais ensinamentos que o próprio curso;

meu orientador e amigo Dr. Miguel Durlo, pela dedicação, cumplicidade e pelos conhecimentos passados, fazendo jus às denominações de professor e orientador;

o querido professor Dr. Franz Andrae da ‘Universität für Bodenkultur’ (Viena), pelo apoio e por proporcionar os contatos com o Prof. Dr. Florin Florineth do ‘Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau’.

Especialmente, agradeço às autoridades do município de **Faxinal do Soturno**, pelo interesse, apoio e acolhida.

**A todos, Muito Obrigado !**

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT / ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>xii</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO / JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>13</b>
<b>2 – REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
2.1 – O curso de água .....	15
2.1.1 – Fisiografia fluvial.....	16
2.1.2 – Perfil longitudinal .....	21
2.1.3 – Processos fluviais.....	23
2.1.4 – Estabilidade de taludes fluviais.....	33
2.2 – As propriedades técnicas da vegetação .....	38
2.2.1 – Descrição de algumas espécies potenciais .....	41
2.3 – A engenharia biotécnica (bioengenharia).....	49
2.3.1 – Definição.....	49
2.3.2 – Histórico e benefícios .....	50
2.3.3 – Princípios, tipologia e funções.....	51
<b>3 – A ÁREA EM ESTUDO .....</b>	<b>56</b>
3.1 – Caracterização geral .....	56
3.1.1 – Localização e hidrografia.....	57
3.1.2 – Clima.....	58
3.1.2 – Geomorfologia, geologia e solos .....	59
3.1.3 – Vegetação original .....	62
3.1.4 – Vegetação atual e usos da terra.....	64
3.2 – O arroio Guarda-mor .....	65
3.2.1 – Fisiografia fluvial.....	65
3.2.2 – Perfil longitudinal .....	67
3.2.3 – Processos fluviais.....	68

<b>4 – EXPERIMENTOS E PRÁTICAS .....</b>	<b>77</b>
4.1 – Canteiro experimental .....	78
4.1.1 – Materiais e métodos .....	79
4.1.2 – Resultados e discussão .....	81
4.1.3 – Conclusões .....	84
4.2 – Parede vegetada de madeira (Krainerwand) .....	87
4.2.1 – Apresentação do problema .....	87
4.2.2 – Proposta geral .....	88
4.2.3 – Detalhamento do trabalho .....	89
4.2.4 – Resultados e discussão .....	93
4.2.5 – Conclusões .....	98
4.3 – Esteira viva (Spreitlage) .....	99
4.3.1 – Apresentação do problema .....	99
4.3.2 – Proposta geral .....	100
4.3.3 – Detalhamento do trabalho .....	101
4.3.4 – Resultados e discussão .....	103
4.3.5 – Conclusões .....	105
<b>5 – CONCLUSÕES FINAIS .....</b>	<b>106</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO FOTOGRÁFICO .....</b>	<b>115</b>
Vegetação (espécies) .....	A
Canteiro experimental .....	B
Parede vegetada de madeira (Krainerwand) .....	C
Esteira viva (Spreitlage) .....	E

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

### Figuras

Figura 2.1. Tipos distintos de leito (adaptado de Christofoletti, 1981 e FISRWG, 1998).....	16
Figura 2.2. Tipos de padrões de canais.....	17
Figura 2.3. Alguns padrões de drenagem (adaptado de FISRWG, 1998 e Cunha, 2001).....	20
Figura 2.4. Mudança das características de um curso de água ao longo do seu perfil longitudinal (FISRWG, 1998).....	22
Figura 2.5. Relação entre a velocidade média, tamanho das partículas e os processos fluviais (Hjulstrom, 1935). ....	26
Figura 2.6. Velocidade média necessária para manter em movimento diferentes esferas ('partículas') de quartzo.....	27
Figura 2.7. Variação vertical longitudinal – da superfície para o fundo – da velocidade de um curso de água (Netto & Alvarez, 1982). ....	30
Figura 2.8. Distribuição das velocidades da água, conforme a forma geométrica da seção transversal do canal (Lame, 1937 <i>apud</i> Christofoletti, 1981).....	31
Figura 2.9. Distribuição transversal das velocidades e do eixo em pontos característicos de um curso de água meândrico (ÖWWV, 1984).....	32
Figura 2.10. Forças influentes no deslizamento.....	35
Figura 2.11. Forças influentes no deslizamento, com efeito do desconfinamento na estabilidade do talude.....	36
Figura 2.12. Efeitos da presença de uma árvore na estabilidade de um talude.....	38
Figura 2.13. Determinação do método apropriado em função da inclinação da margem (FISRWG, 1998).....	54
Figura 3.1. Localização e hidrografia do Estado do Rio Grande do Sul.....	57
Figura 3.2. Divisão política da área de drenagem do arroio Guarda-mor.....	58
Figura 3.3. Diagrama climático da região de Santa Maria.....	59
Figura 3.4. Compartimentação geomorfológica do Estado do Rio Grande do Sul.....	60
Figura 3.5. Perfil topográfico-geológico (adaptado do mapa geológico da carta de Camobi).....	61
Figura 3.6. Cobertura florestal da bacia do Guarda-mor (adaptado do Inventário Florestal da Região da Quarta Colônia de Imigração Italiana – PRODESUS, 1998).....	64
Figura 3.7. Bacia hidrográfica e rede de drenagem do arroio Guarda-mor.....	66
Figura 3.8. Perfil longitudinal do arroio Guarda-mor (adaptado de Sutili, 2001).....	67
Figura 3.9. Divisão, em planta, das seções da bacia hidrográfica do arroio Guarda-mor.....	69
Figura 3.10. Locais de ocorrência de depósitos (ilhas) ao longo do perfil longitudinal do arroio Guarda-mor (Sutili, 2001).....	72
Figura 3.11. Mudanças ocorridas no canal do arroio Guarda-mor no período de 20 anos, entre 1976 (direita) e 1996 (esquerda).....	75
Figura 4.1. Mapa mostrando a localização dos experimentos.....	77

Figura 4.2. Canteiro experimental. ....	79
Figura 4.3. Número médio de brotos por planta. ....	82
Figura 4.4. Comprimento médio dos brotos. ....	82
Figura 4.5. Número médio de raízes por metro de estaca enterrada. ....	83
Figura 4.6. Comprimento médio das raízes. ....	84
Figura 4.7. Aspecto do trecho em estudo, antes da estabilização da margem direita. ....	87
Figura 4.8. Efeito esperado após o revestimento com madeira e revegetação da margem. ....	88
Figura 4.9. Vista da margem em corte transversal. ....	92
Figura 4.10. Aspecto atual do trecho tratado do arroio Guarda-mor. ....	95
Figura 4.11. Precipitação diária no município de Faxinal do Soturno (dados da Secretaria Municipal da Agricultura, Dotto 2003). ....	96
Figura 4.12. Efeito esperado na margem após a implantação da esteira viva. ....	100
Figura 4.13. Construção da esteira viva, corte transversal. ....	102

## **Tabelas**

Tabela 2.1. Divisão dos padrões fluviais, tendo como limite os valores de sinuosidade. ....	18
Tabela 2.2. Tensão de erosão permitida por diferentes substratos desagregados. ....	24
Tabela 2.3. Tensão de erosão permitida por diferentes substratos com coesão. ....	24
Tabela 2.4. Efeitos da vegetação sobre a estabilidade de encostas. ....	40
Tabela 2.5. Possíveis formas de plantio utilizadas pela bioengenharia. ....	53
Tabela 3.1. Características demográficas e cobertura florestal dos municípios que possuem áreas na bacia hidrográfica do arroio Guarda-mor. ....	64
Tabela 4.1. Ferramentas utilizadas no trabalho (Parede vegetada de madeira). ....	90
Tabela 4.2. Custos da obra (Parede vegetada de madeira). ....	97
Tabela 4.3. Ferramentas utilizadas no trabalho (Esteira viva). ....	102
Tabela 4.4. Custos da obra (Esteira viva). ....	104

# MANEJO BIOTÉCNICO DO ARROIO GUARDA-MOR: PRINCÍPIOS, PROCESSOS E PRÁTICAS

*(Biotechnical Applications on Guarda-mor Stream:  
Principles, Processes and Practices)*

*(Ingenieurbiologische Uferschutzmaßnahmen  
am Bach Guarda-mor / Süd-Brasilien)*

Autor: Eng. Ftal Fabrício Jaques Sutili  
Orientador: Prof. Dr. Miguel Antão Durlo

Local e Data: Santa Maria – RS, Brasil / maio de 2004.

**RESUMO** – A instabilidade dos taludes e a erosão em um curso de água são, em princípio, resultados de processos fluviais de origem natural. Esses eventos podem resultar em danos econômicos e sociais, que o homem, involuntariamente pode agravar, ou controlar se houver interesse. Como forma de estabilizar declives e controlar processos erosivos, pode-se fazer uso das técnicas de bioengenharia. Estas biotécnicas são conhecidas e utilizadas há décadas na Europa (em países como Alemanha, Suíça e Áustria) e na América do Norte. No Brasil, entretanto, são ainda pouco conhecidas, dada a falta de uma visão sistemática, decorrente de estudos, observações e experimentos, que permitam sua utilização e difusão. Este trabalho revisa os conceitos relacionados ao tema, apresenta informações sobre as características e os processos fluviais particulares de um curso de água tomado como referência – o arroio Guarda-mor –, e experimenta formas de estabilização dos seus taludes, dando especial atenção à performance e às qualidades biotécnicas de algumas espécies vegetais de ocorrência local. Obteve-se sucesso com os dois modelos de intervenção experimentados. Estes puderam ser implementados com materiais vegetais e construtivos locais e a um custo justificável. Entre as quatro espécies estudadas e experimentadas, apenas *Calliandra brevipes* mostrou-se pouco promissora. *Phyllanthus sellowianus*, *Salix humboldtiana* e *Sebastiania schottiana* revelaram-se capazes de produzir os efeitos esperados para a estabilização de taludes fluviais.

**ABSTRACT** – Slope instability and erosion of the soil by water are major environmental hazards. Although they are the result of natural geomorphological processes, they are both affected by and have consequences for human activity, often incurring economic and social damage. The use of vegetation for slope stabilization and erosion control can be referred to as soil bioengineering. In Europe (especially in Germany, Switzerland and Austria) and in the United States, pioneers have been using bioengineering for many decades. However, in Brazil, these techniques are still little known, given the lack of a systematic vision, observations and experiments that allow your diffusion and use. This work describes the erosion processes of the ‘Guarda-mor’ stream and aims to state the potential of using soil bioengineering and demonstrate the science (principles) and practices. As well, to describe and analyse the research base underlying soil bioengineering in order to provide a better understanding of the role of vegetation (native species) and how it can be regarded as an engineering material. Success was obtained with the two soil bioengineering’s techniques, constructed with local material, in an economical and practical way. Among the four studied species only *Calliandra brevipes* showed not to be promising as engineering material. *Phyllanthus sellowianus*, *Salix humboldtiana* and *Sebastiania schottiana*, are promising engineering material.

**ZUSAMMENFASSUNG** – Ingenieurbiologische Bauweisen zur Sicherung von Fluss- und Bachufern haben sich in Europa und Nordamerika durchgesetzt, weil sie dauerhaft funktionieren, primär aus nachwachsenden Ressourcen hergestellt werden und – wenn richtig eingesetzt – ökologisch wertvoll sind. Damit diese landschafts- und ressourcenschonenden Maßnahmen auch in Brasilien durchgeführt werden können, müssen geeignete Gehölze gesucht und getestet werden, und verschiedene Baumaßnahmen dem Klima und den vorhandenen Arbeitsbedingungen angepasst werden. Nach einer Revision der grundlegenden Begriffe und Konzepte werden in der vorliegenden Arbeit verschiedene Gehölze auf ihre Fähigkeit zur Spross- und Adventivwurzelbildung in einem Pflanzhügel getestet und zwei Bauweisen unter lokalen Standortbedingungen erprobt. Mit Ausnahme von *Calliandra brevipes* haben sich die anderen getesteten Arten, *Phyllanthus sellowianus*, *Salix humboldtiana* und *Sebastiania schottiana* als vielversprechend für ingenieurbiologische Maßnahmen gezeigt. Die zwei, in situ erprobten Bauweisen konnten – bei annehmbaren Kosten – mit lokalen Baustoffen und unter Verwendung von Arten der lokalen Vegetation durchgeführt werden.

Os processos geomorfológicos estão constantemente em ação, dando à paisagem um caráter temporário e variável. As diferentes paisagens atuais são o resultado da manifestação pregressa de agentes modeladores, que, com interações, intensidades e capacidades de modificação variáveis no tempo e no espaço, causam uma paulatina, embora constante, transformação do relevo.

Em um sentido, agem forças endógenas, capazes de criar desigualdades na superfície terrestre. São estas as forças exercidas pelos movimentos da crosta, arqueamentos, isostacias, terremotos e atividades vulcânicas. Por outro lado, agem forças exógenas capazes de causar processos erosivos e, através dos seus agentes principais, que são a água e o vento, condicionados pela gravidade, transportam e depositam nas cotas mais baixas os produtos do intemperismo. Forças de intemperismo e erosão podem ser exercidas pelas oscilações da temperatura, pela água, pelo vento, pela gravidade, pelos animais e pelo homem. Estes agentes, apesar de possuírem origens independentes, influenciam-se mutuamente e também são, em parte, manifestações resultantes do próprio relevo que moldam.

A água é o mais importante agente processual modelador exógeno do relevo. Seu efeito de intemperismo ocorre em vários níveis e locais, de formas físicas e químicas, compreendendo todo o seu ciclo natural. Do seu escoamento superficial, principalmente nos cursos de água, resultam importantes efeitos na construção da paisagem.

Como processos de caráter exclusivamente fluvial entendem-se a erosão, o transporte e a sedimentação, tanto dos materiais providenciados pelo próprio trabalho de corrosão das margens e escavação do leito, como de todos os produtos do intemperismo que alcançam o fluxo de água.

O homem, por interesse ou de maneira involuntária, pode interferir positiva ou negativamente sobre, alguns, dos fatores processuais. As forças endógenas fogem, quase que completamente, ao seu controle. Entre as exógenas, encontram-se um conjunto de fatores processuais que não podem, facilmente e a curto prazo, serem influenciados e outros que, de maneira mais fácil, podem ser manipulados pelas ações humanas. Os primeiros são, simplesmente, condicionantes das ações; os últimos, tanto são condicionantes como podem ser instrumentos para o controle dos processos fluviais e, conseqüentemente, da paisagem.

Não se consegue modificar o clima ou a geologia de um local, por exemplo, mas, pontualmente e dentro de certos limites, pode-se utilizar a vegetação para que certas características locais sejam influenciadas ou controladas. Pequenas intervenções físicas no leito e canal, apoiadas ou não, por medidas vegetativas, podem alterar características como a velocidade da água e a tensão de erosão suportada pelo leito, controlando processos fluviais.

Para o sucesso, deve-se levar em consideração conceitos importantes como os de *tensão limite de erosão* e *velocidade limite de transporte* e, optar por uma ou mais técnicas que resultem no efeito desejado.

Tendo em vista a elaboração de um conceito de tratamento, é necessário conhecer as aptidões e os limites das diferentes técnicas, como também as características físicas particulares do local e do curso de água em tratamento. Para a escolha da biotécnica adequada, fica-se, também, na dependência das características dos materiais construtivos e vegetal disponíveis na região.

Portanto, o objetivo da dissertação é desenvolver e trazer respostas a este tema, descrevendo e estudando os processos fluviais da rede de drenagem do arroio Guarda-mor. A hipótese a ser testada consiste em verificar a aplicabilidade das formas de estabilização dos taludes fluviais, conseguidas com pequenas alterações físicas no leito e, principalmente, usando a vegetação como ferramenta de trabalho para a solução dos problemas nesta área que se localiza entre os municípios de Ivorá, Silveira Martins e Faxinal do Soturno, que, com as devidas adaptações, também poderão ser validas em outros cursos de água da região do Rebordo (vertente sul) da Serra Geral (RS).

Este capítulo tem como objetivo revisar alguns conceitos e convencionar terminologias de interesse à compreensão dos processos fluviais de erosão – a corrosão especialmente –, o transporte e a sedimentação. Adicionalmente, procura-se evidenciar as características técnicas da vegetação, que é colocada como possível ferramenta para o controle de alguns dos processos fluviais, principalmente no que diz respeito à estabilização de taludes fluviais.

### **2.1 – O curso de água**

A água constitui um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem terrestre. É destacado o seu papel como agente modelador do relevo (Netto, 2001). Está ligada aos processos de erosão, e sua influência sobre a estabilidade de encostas e taludes é decisiva (Durlo & Sutili, 2002). Do seu escoamento superficial nos cursos de água resultam processos fluviais que participam da constante esculturação das formas de relevo e que, segundo Durlo (2001), correlacionam-se, de forma dinâmica, a toda sorte de aspectos ecológicos, econômicos e sociais.

Wolle (1980) *apud* Pinheiro (2000) considera a água e o vento, sob a condicionante básica da gravidade, como sendo capazes de causar processos erosivos, de transporte e deposição, com uma permanente tendência à peneplanização. Isso se dá, em parcela considerável, devido aos processos resultantes do escoamento superficial e perene das águas. Estes são os chamados processos fluviais.

### 2.1.1 – Fisiografia fluvial

Silveira (1993) considera dados fisiográficos aqueles que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas ou imagens de satélites. Basicamente são áreas, comprimentos, declividades, padrões e índices, que expressam as características fluviais.

O reconhecimento de alguns destes aspectos é importante para a compreensão dos processos fluviais e para a adoção adequada de técnicas de correção e estabilização.

A fisiografia fluvial pode ser entendida sob os pontos de vista de leito, de canal e de rede de drenagem (Cunha, 2001).

#### 2.1.1.1 – O leito

Como leito fluvial entende-se o espaço ocupado pelo escoamento das águas. Conforme Cunha (2001), esse espaço varia com a frequência das descargas e de um setor a outro do mesmo curso de água, em decorrência das características particulares do trecho, principalmente da topografia (inclinação do leito). Uma classificação pode ser feita segundo as indicações de Christofolletti (1981) e da 'Federal Interagency Stream Restoration Working Group' (FISRWG, 1998), que distinguem o leito de vazante, o leito menor, o leito maior e o maior excepcional (Figura 2.1).

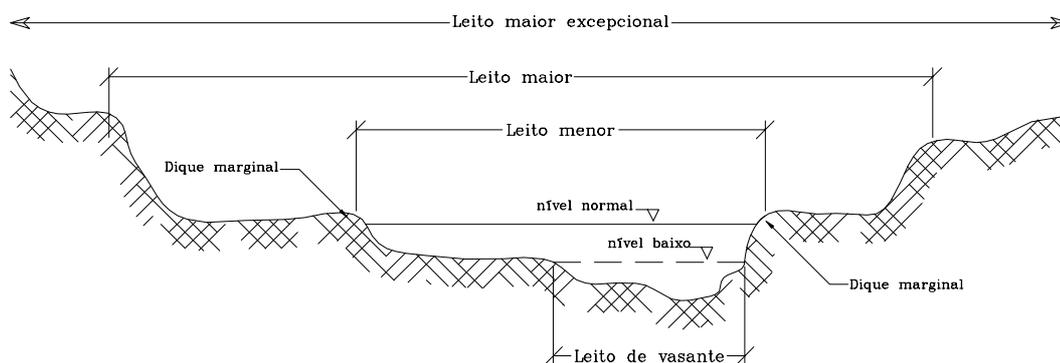


Figura 2.1.

Tipos distintos de leito (adaptado de Christofolletti, 1981 e FISRWG, 1998).

O leito menor e o de vazante correspondem à parte ocupada pelas águas, cuja frequência impede o surgimento de vegetação, sendo o leito de vazante marcado pela linha de máxima profundidade ao longo do canal, o talvegue. O leito maior é de ocupação sazonal, durante as cheias, e o maior excepcional, somente durante as grandes cheias (Cunha, 2001).

#### 2.1.1.2 – O canal

A fisionomia exibida por um curso de água ao longo do seu desenvolvimento longitudinal, sob uma perspectiva de vista superior, é descrita como retilínea, meândrica ou anastomosada (Christofolletti, 1974 e 1981). Veja Figura 2.2.

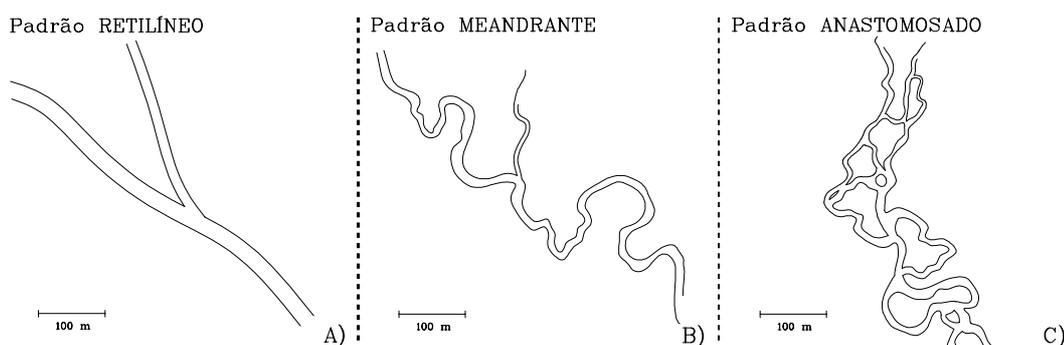


Figura 2.2.

Tipos de padrões de canais.

Segundo Christofolletti (1981), esses padrões resultam do ajuste do canal à sua seção transversal. Da mesma maneira que o tipo de leito, o padrão que o canal assume também fica na dependência das características de cada trecho do curso de água, podendo um mesmo rio demonstrar, em pontos distintos, os três tipos de canal ou mesmo uma certa combinação deles. Para Schumm (1972), essa característica é determinada principalmente pelo tipo de carga detrítica, que corresponde à granulometria e à quantidade do material transportado pelo curso de água em um determinado trecho. Assim, essa característica pode ser bastante variável tanto no espaço como no tempo, para um mesmo curso de água.

O reconhecimento de um trecho com comportamento anastomosado, mesmo sendo baseado simplesmente no reconhecimento visual, parece bastante seguro. Já o limite que distingue um trecho como meandrante ou retilíneo pode ser mais subjetivo. Por isso, para distinguí-los, pode-se valer da proposta de Schumm (1972), que considera um trecho como meandrante quando seu índice de sinuosidade for superior a 1,3 (Tabela 2.1).

De acordo com Christofolletti (1974 e 1981), o índice de sinuosidade é dado pela relação entre o comprimento do talvegue e o comprimento do vale.

Tabela 2.1. Divisão dos padrões fluviais, tendo como limite os valores de sinuosidade.

Tipos	Índice de sinuosidade
A) Meandrantas	
a) tortuosos	2,3
b) irregulares	1,8
c) meandros regulares	1,7
B) Transicional	1,3
C) Retos	1,1

Este índice presta-se tanto para distinguir os trechos retilíneos dos sinuosos, quanto para ser usado como fator de comparação entre estes. No entanto, para que seja possível a comparação entre rios (cursos de água) diferentes, é preciso que o valor de sinuosidade seja expresso como porcentagem em relação ao comprimento total do curso de água, conforme salienta Mansikkaniemi (1972) *apud* Christofolletti (1981).

#### 2.1.1.3 – A rede de drenagem

Chama-se rede de drenagem fluvial o conjunto de canais que se interligam, escoando em uma determinada direção. A área drenada por essa rede é denominada de bacia hidrográfica (Marques, 2001). O conceito de Netto (2001) afirma que uma bacia de drenagem é uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, em um determinado ponto de um canal fluvial.

Cunha (2001) lembra que a rede de drenagem pode exibir diferentes padrões de drenagem, possibilitando a realização de classificações que levem em conta a forma de escoamento, a gênese e a geometria dos canais.

De acordo com o escoamento, as redes de drenagem são classificadas como exorréicas, quando a drenagem se dirige para o mar, e em endorréicas, quando a drenagem se dirige para uma depressão interna do continente (lago).

Conforme Christofolletti (1981), a classificação genética foi proposta por Horton em 1945 e considera os cursos de água em relação à inclinação das camadas geológicas. Por este critério, os rios foram classificados em cinco padrões: consequente, subsequente, obsequente, ressequente e insequente. O rio consequente é determinado pela inclinação do terreno e coincide, em geral, com o mergulho das camadas, originando um curso retilíneo e paralelo. O rio subsequente é controlado pela estrutura rochosa e acompanha as linhas de fraqueza (falha, junta, diáclase). Nas áreas sedimentares, corre perpendicular à inclinação das camadas. Quando o curso de água se dirige em sentido inverso à inclinação das camadas, descendo das escarpas até o rio subsequente, é classificado como rio obsequente, formando um canal de pequena extensão, que corre no sentido contrário ao do rio consequente. O rio ressequente corre na mesma direção dos rios consequentes, porém, nasce em nível topográfico mais baixo, no reverso das escarpas, e desemboca em um rio subsequente. O rio insequente corre de acordo com a morfologia do terreno e em direção variada, sem nenhum controle geológico aparente (áreas planas ou de rocha homogênea).

A classificação dos padrões de drenagem, com base na geometria dos seus canais, apresenta os seguintes tipos fundamentais: dendrítico, paralelo, retangular, radial, anelar, treliça e irregular, conforme mostrado na Figura 2.3.

Uma bacia hidrográfica pode englobar diferentes padrões geométricos para seus rios e mesmo uma gama de subtipos (Bigarella *et al.*, 1979). Esses padrões resultam de um grande número de características do ambiente local, tanto geológicas quanto climáticas, com quem se relacionam. Desta maneira, é possível pressupor algumas das características do ambiente, interpretando-se o padrão de drenagem, a forma do escoamento e a gênese da sua rede de drenagem.

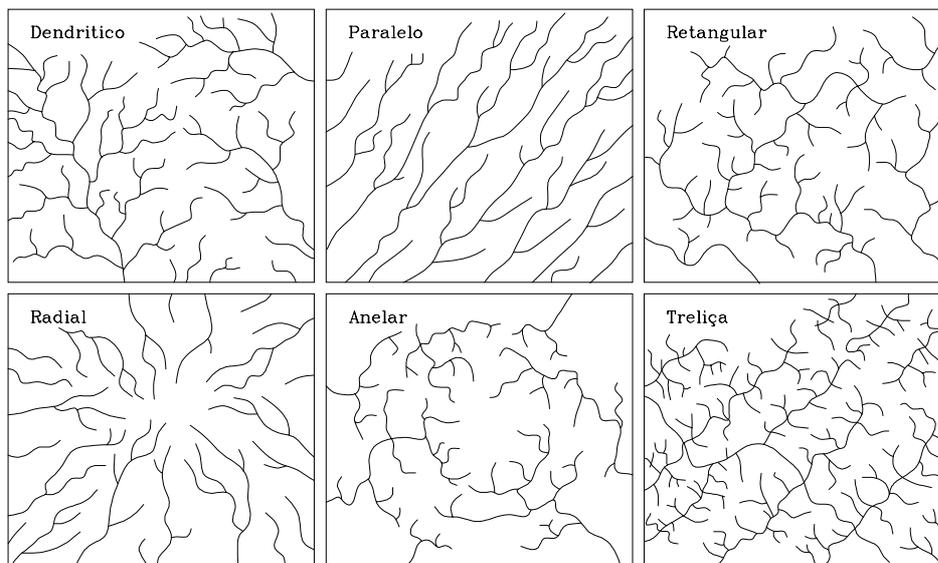


Figura 2.3.

Alguns padrões de drenagem  
(adaptado de FISRWG, 1998 e Cunha, 2001).

Sutuli (2001) menciona que, além do padrão de drenagem, é importante conhecer a densidade dessa drenagem, a fim de compará-la entre as bacias. Para Sousa (1977), a densidade é determinada pela relação entre o somatório do comprimento dos cursos de água e a área da bacia hidrográfica. Este autor considera alto o valor da densidade quando superior a  $4,1 \text{ km/km}^2$ ; médio, quando varia entre  $2,1$  a  $4,0 \text{ km/km}^2$ ; e baixo, quando é inferior a  $2,0 \text{ km/km}^2$ .

Outro dado de fácil visualização e útil para situar (posicionar) o curso de água, dentro de sua rede de drenagem ou esta última em relação às outras, é a determinação da hierarquia fluvial. Para isso, pode-se seguir um sistema igualmente proposto por Horton em 1945 e modificado por Strahler em 1952, conforme explicam Silveira (1993) e Cunha (2001): os canais de 1ª ordem são os que não possuem tributários, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os de 2ª ordem resultam da confluência de dois canais de 1ª ordem; os canais de 3ª ordem são formados pela confluência de dois canais de 2ª ordem; os de 4ª ordem surgem da confluência de dois canais de 3ª ordem, recebendo afluentes das ordens anteriores; e assim sucessivamente.

### 2.1.2 – Perfil longitudinal

A configuração de um rio e a velocidade de suas águas dependem de diversos fatores, tais como o regime pluvial da área de drenagem, a constituição litológica do substrato e, finalmente, a topografia, que intervém na declividade do terreno. Conforme a região percorrida, um rio pode possuir um gradiente heterogêneo durante seu percurso, isto é, a velocidade e, por conseqüência, outras características, podem variar com a maior ou menor inclinação do leito (Leinz & Amaral, 1978).

O perfil longitudinal de um curso de água mostra a variação da sua declividade ou gradiente. Consiste na representação visual (gráfica) da relação entre a altimetria e o comprimento de determinado curso de água, para as diversas localidades situadas entre a nascente e a foz. Trata-se também, de uma informação fisiográfica, especialmente importante para a compreensão e controle dos processos fluviais (Christofletti, 1981).

De acordo com Sutili (2001), a confecção do perfil longitudinal de um curso de água consiste simplesmente na demonstração gráfica do percurso, visto de sua perspectiva longitudinal. A altitude é demonstrada no eixo das ordenadas, com leituras que podem ser fixadas de acordo com a notação das curvas de nível de que se dispõe, e, no eixo das abscissas, é colocado o somatório das distâncias percorridas pelo curso de água entre cada cota. A escala da altitude é exagerada em relação ao percurso – normalmente dez vezes – com objetivo de tornar mais evidente as características do perfil.

FISRWG (1998) faz uma série de correlações lógicas, mas convenientemente elucidativas, do comportamento de um curso de água quando observado ao longo do desenvolvimento do seu perfil longitudinal. Essas correlações são resumidas graficamente na Figura 2.4.

Enquanto a profundidade e a largura do canal aumentam, elevando a vazão, a velocidade média da água e a ocorrência de deslizamentos diminuem. O decréscimo na granulometria do material transportado está relacionado ao alcance das velocidades limites (críticas) de transporte correspondentes à granulometria e à densidade de cada material, à medida que a velocidade da água diminui. Assim,

é possível que a jusante, normalmente, se desenvolva uma área de sedimentação caracterizada pela formação de regiões meândricas, deltas ou cones de dejeção, nos quais o volume de material depositado aumenta consideravelmente.

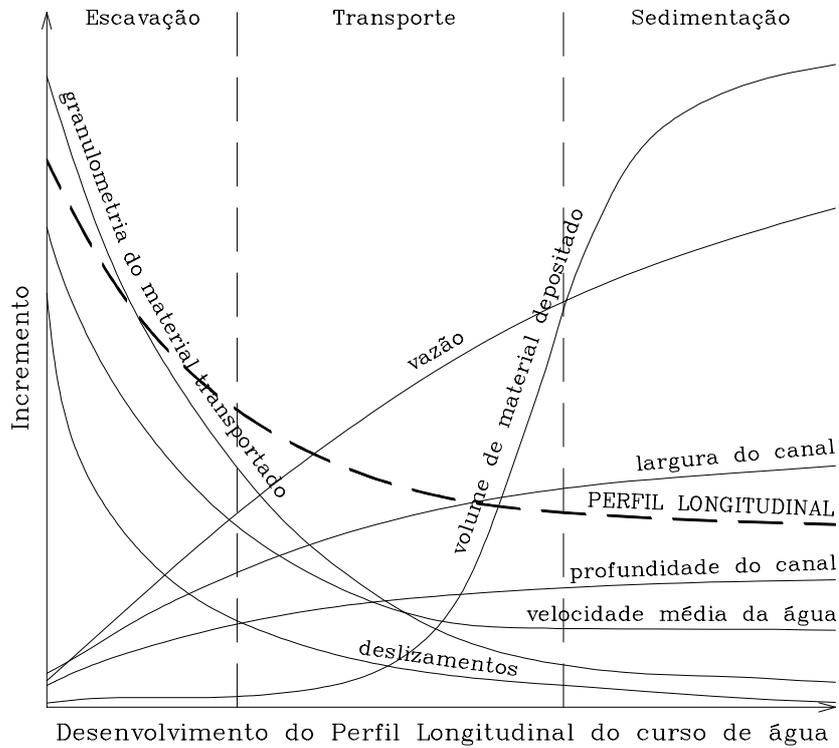


Figura 2.4.

Mudança das características de um curso de água ao longo do seu perfil longitudinal (FISRWG, 1998).

Christofolletti (1981) afirma que um formato côncavo do perfil longitudinal reflete a maturidade do curso e o estabelecimento de um equilíbrio entre os processos de erosão, transporte e depósito dos sedimentos, que ocorrem, em regra, obedecendo ao típico desenvolvimento longitudinal do curso de água. De mesmo modo, a presença de uma seção final prolongadamente plana revela equilíbrio.

A forma do perfil longitudinal de um curso de água correlaciona-se, seguramente, com suas demais características fisiográficas e hidráulicas e, conseqüentemente, relaciona-se com os processos fluviais.

### 2.1.3 – Processos fluviais

Para Christofolletti (1981), as redes hidrográficas são as principais vias para o transporte de produtos elaborados pelo intemperismo.

A produção de materiais pela erosão operada no próprio leito e o transporte, tanto destes quanto dos materiais provindos dos afluentes e de toda a área da bacia, são aspectos importantes dos cursos de água, especialmente daqueles com características torrenciais (Mayer, 1941).

A erosão provocada por um curso de água, ou torrente, é resultado da escavação do seu próprio leito, fundo e margens (Cunha, 2001). 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 um dado momento, podem superar as de resistência (coesão e/ou peso das partículas), romper agregados e incorporar partículas ao fluxo, disponibilizando-as ao transporte, realizado pelo próprio curso de água (Bordas & Semmelmann, 1993; Durlo & Sutili, 2002). Não só partículas individuais como areia, silte, argila, cascalho, seixos, etc., podem ser incorporadas ao fluxo, mas também pequenas porções de agregados (Bordas & Semmelmann, 1993).

Segundo Du Boys (1879), para cada tipo de substrato, existe uma tensão de cisalhamento a partir da qual o material, até então estável, passa a ser erodido e entra em movimento. Esta é a chamada *tensão limite de erosão*. O autor demonstra que a força exercida pela água é produto da declividade e da profundidade do leito, sendo também influenciada pelo peso específico da água.

As duas tabelas seguintes foram retiradas da norma alemã (DIN 19 661), citada por Weinmeister (1994), e estabelecem a tensão de erosão permitida para substratos sem coesão (Tabela 2.2) e com coesão (Tabela 2.3).

Ao confrontar a tensão de erosão existente (calculada para um trecho) com a tensão limite de erosão do substrato, é possível averiguar a estabilidade do curso de água no trecho em questão. Inversamente, pode-se determinar a profundidade limite e a declividade limite de erosão, pressupondo-se que seja conhecido o tipo de substrato e, em decorrência, a tensão permitida (Du Boys, 1879).

Tabela 2.2. Tensão de erosão permitida por diferentes substratos desagregados (DIN 19 661).

SUBSTRATO (sem coesão)	Granulometria (mm)	$\tau_{(m\acute{a}x.)}$ (N/m <sup>2</sup> )
Areia fina	0,06 a 0,02	1,0
Areia média	0,2 a 0,6	2,0
Areia grossa	0,6 a 1,0	3,0
Areia muito grossa	1,0 a 2,0	4,0
Areia e cascalho sob longa submersão	0,6 a 6,3	9,0
Areia e cascalho sob curta submersão	0,6 a 6,3	12,0
Cascalho médio	6,3 a 20,0	15,0
Cascalho grosso	20,0 a 63,0	45,0
Sedimento achatado	(1-2 x 4-6 cm)	50,0

Tabela 2.3. Tensão de erosão permitida por diferentes substratos com coesão (DIN 19 661).

SUBSTRATO (com coesão)	$\tau_{(m\acute{a}x.)}$ (N/m <sup>2</sup> )
Areno-argiloso	2,0
Deposições argilosas	2,5
Argila firme	12,0
Cascalho e argila sob longa submersão	15,0
Cascalho e argila sob curta submersão	20,0

Os materiais maiores, como areias, seixos e cascalhos, mostrados na Tabela 2.2, não possuem coesão e, portanto, sua resistência ao deslocamento é resultado do peso (densidade e volume) da partícula. Já a coesão é, por excelência, a força de resistência dos agregados de partículas finas (silte e argilas). De acordo com Morisawa (1968), a força de cisalhamento, tensão de erosão provocada pela água, é decisiva para desagregar e iniciar o movimento de partículas pequenas, sendo a velocidade do fluxo a variável mais importante para iniciar o movimento das partículas maiores.

Uma vez que os materiais estejam disponíveis, eles podem ser transportados, basicamente, de três formas, como evidencia Weinmeister (1994): como sobrenadantes, dissolvidos na água ou em suspensão.

Segundo Durlo & Sutili (2002), no caso dos processos fluviais e com vistas à estabilização dos cursos de água, o grupo mais importante é o dos materiais transportados em suspensão. Weinmeister (1994) comenta ainda que o transporte dos materiais em suspensão pode ocorrer da maneira propriamente dita, ou por arraste ou, ainda, por saltação. Isso ocorre por que, segundo Carson (1971), para que uma partícula seja incorporada ao fluxo, ela deve ser soerguida. A força de soerguimento, porém, diminui rapidamente, desaparecendo quase por completo à distância de 2,5 cm do leito. Se não houver força de turbulência e/ou velocidade suficiente para manter a partícula suspensa e integrada no fluxo, esta tende a depositar-se. Ao atingir as proximidades do leito, novamente pode ser movimentada pela força de soerguimento (Christofoletti, 1981). Desta forma, o movimento se dá através de arraste ou saltação ao longo do escoamento da água.

Segundo Leinz & Amaral (1978), rochas maiores são empurradas e freqüentemente tombam, enquanto que seixos menores rolam e pulam num movimento desordenado, obedecendo às irregularidades do movimento turbilhonar, conseqüência das características do leito, da velocidade e viscosidade (densidade) da água.

Hjulstrom (1935) *apud* Christofoletti (1974, 1981) relaciona a erosão e a deposição dos detritos em função do diâmetro das partículas e da velocidade da água (Figura 2.5). Christofoletti (1981) lembra que as linhas demarcatórias – dadas por Hjulstrom (1935) na Figura 2.5 – devem ser entendidas como faixas, porque as velocidades variam também conforme outras características da água e das partículas. Neste aspecto, é importante o trabalho de Mayer (1941), que descreve matematicamente estas relações afirmando que dependem de dois grupos de fatores distintos. O primeiro refere-se a um conjunto de características intrínsecas do material em questão, como sua forma, dimensão, peso específico e coeficiente de atrito, e o segundo, às características da água, isto é, seu peso específico e velocidade. Segundo Durlo (2001), é da relação que existe entre o diâmetro, forma e densidade das partículas e a velocidade da água que depreende-se o importante conceito de *velocidade limite* ou *velocidade crítica de transporte*, base para a maioria dos estudos e técnicas de manejo dos cursos de água.

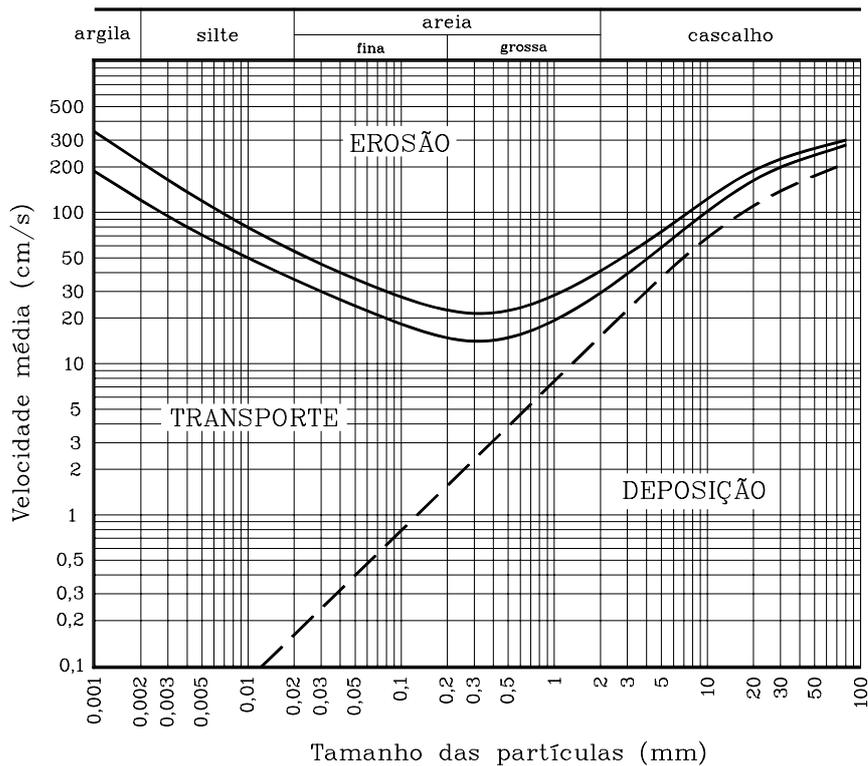


Figura 2.5.

Relação entre a velocidade média, tamanho das partículas e os processos fluviais (Hjulstrom, 1935).

Pode-se, com a atenção recomendada por Christofolletti (1981), avaliar como suficiente a relação que existe entre o diâmetro da partícula transportada e a velocidade da água. Assim, o gráfico de Hjulstrom presta-se para evidenciar o fato, já comentado, de que as forças de resistência à erosão e ao transporte são de origens diferentes para as partículas finas (coloidais) e para os materiais maiores. Tratando-se de substratos constituídos por partículas coloidais, a resistência à erosão se dará devido às suas forças de coesão e assim, de maneira inversa ao seu diâmetro, isso, desconsiderando-se a natureza mineralógica das partículas, que pode conferir características coesivas diferentes para materiais de dimensões similares. Na parte central do gráfico (Figura 2.5) estão as partículas que correspondem ao diâmetro médio das areias e dos cascalhos finos. Esses materiais não possuem coesão e nem peso suficiente para oferecer resistência ao transporte. No entanto, à medida que o tamanho dos materiais aumenta, começa a surgir o efeito, agora direto, do peso da partícula na resistência ao movimento, e a

velocidade necessária para provocar erosão e transporte começa a crescer novamente. Conforme Leinz & Amaral (1978), o diâmetro dos materiais mais grosseiros (com mesma densidade), transportados pela corrente, varia aproximadamente com o quadrado da velocidade. Assim, se a velocidade dobrar, o diâmetro máximo de um seixo que pode ser transportado será em torno de quatro vezes maior. Veja-se a Figura 2.6 produzida a partir dos dados de Leinz & Amaral (1978).

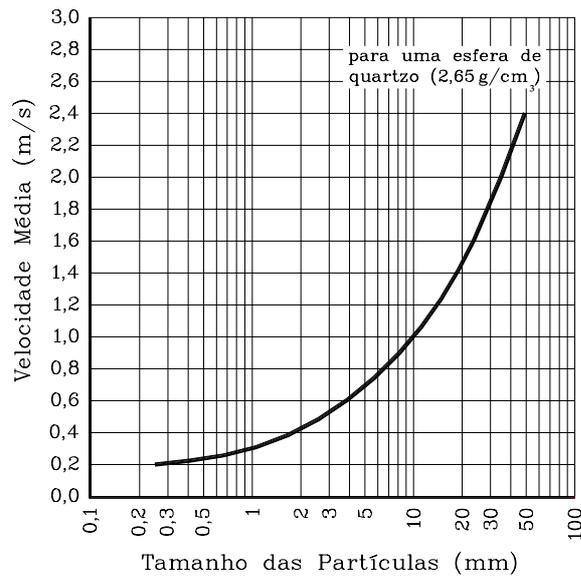


Figura 2.6.

Velocidade média necessária para manter em movimento diferentes esferas ('partículas') de quartzo.

Observa-se na Figura 2.5, o fato de esta relação direta entre tamanho e velocidade não se aplicar às partículas menores que as areias. Para as partículas coloidais nem mesmo ocorre a deposição efetiva; isso se deve ao fato de que essas partículas não possuem nem mesmo o tamanho e a densidade suficientes para romperem com a resistência do meio fluido em que estão envoltas, o que impede ou refreia sua queda para o fundo, oportunizando que sejam novamente colocadas em movimento, sobretudo pelo efeito de turbulência próximo ao fundo. Por isso, é importante a colocação de Bordas & Semmelmann (1993), os quais, além de reconhecerem os fenômenos de erosão e transporte, segregam a sedimentação em

decantação, depósito e consolidação. Os dois primeiros termos, normalmente se confundem, no entanto, o primeiro designa o processo pelo qual as partículas mais finas, transportadas em suspensão, tendem a restabelecer contato com o fundo. A deposição propriamente dita só ocorre quando a partícula realmente alcança o fundo e aí permanece até ser novamente movimentada ou finalmente consolidada pelo efeito da pressão hidrostática ou qualquer outro fenômeno que venha a aumentar a densidade dos depósitos.

Segundo Durlo (2001), a velocidade limite de transporte tanto pode ser compreendida como a velocidade necessária para colocar materiais em movimento, ou para mantê-los em movimento. A velocidade necessária para romper as eventuais forças coesivas dos materiais coloidais, soerguer e manter a partícula incorporada ao fluxo é, de maneira evidente, maior que a necessária para que (somente) seja mantido este último estágio. Já para as partículas maiores a velocidade necessária para colocá-las em movimento e a necessária para mantê-los neste estado é muito parecida.

Tendo em vista estes aspectos, Morisawa (1968) explica:

*a)* areias são erodidas mais facilmente, enquanto siltes, argilas e cascalhos são mais resistentes. Os grãos mais finos são resistentes em virtude das forças coesivas de ajustagem e da fraca rugosidade do leito, enquanto os cascalhos são difíceis de serem movimentados em virtude do tamanho e do peso das partículas;

*b)* desde que os siltes e argilas sejam movimentados, essas partículas podem ser transportadas sob velocidades muito baixas. Por exemplo, partículas de 0,01 mm de diâmetro começam a ser movimentadas sob velocidades críticas de aproximadamente 60 cm/s, mas conservam-se em movimento até sob velocidade inferiores a 0,1 cm/s.

Segundo Durlo & Sutili (2002), os menores materiais em suspensão depositam-se somente após acentuada redução da velocidade, ocasionada pelo alcance da respectiva velocidade limite (inferior) de transporte, em trechos menos declivosos ou mais largos. Para os materiais mais grosseiros qualquer perda de velocidade pode provocar a sua deposição. Veja a Figura 2.5.

A velocidade do fluxo depende, basicamente, da inclinação do leito (Aulitzky *et al.* 1990). Assim, quanto maior a inclinação do leito, maior será a velocidade da água e, portanto, maior será sua capacidade de transporte de materiais. Isso torna a análise do perfil longitudinal de um curso de água uma importante ferramenta para a compreensão dos fenômenos e processos fluviais.

De maneira concisa, no curso superior de um rio, isto é, nas regiões próximas das cabeceiras, onde predomina geralmente a atividade erosiva e transportadora (veja a Figura 2.4), há grande quantidade de detritos fornecidos pela erosão e deslizamento (movimentos de massa) das encostas, que se somam aos detritos originados da atividade erosiva do próprio curso de água (rio). Nestas condições, o rio aumenta seu leito em profundidade, determinando uma forma de vale em 'V'. No seu curso médio, graças à menor velocidade das águas, diminui o poder transportador, ocasionando a deposição dos fragmentos maiores, que vão agora proteger o fundo do rio contra o trabalho erosivo. Com o aumento da deposição de detritos nas regiões de menor velocidade, verifica-se uma mudança na configuração do leito (vale), que passará a ter a forma de um 'U' bastante aberto, de base muitas vezes maior que os lados. A erosão, que antes era em profundidade, escavação do fundo, agora passa a ser, predominantemente, lateral (Sawyer, 1975; Leinz & Amaral, 1978; Bordas & Semmelmann, 1993).

No entanto, a velocidade da água em seu curso, altera-se não só com a variação da declividade, proporcionada pelo desenvolvimento longitudinal do canal, mas, conforme Netto & Alvarez (1982), também modifica-se no sentido transversal e longitudinal do leito e canal. De um modo geral, a velocidade da água de um canal aberto diminui da superfície para o fundo e do centro para as margens, como resultado da resistência oferecida pelas paredes (margens) e pelo fundo. Na superfície livre, a resistência oferecida pela atmosfera e pelos ventos também influencia a velocidade.

Verticalmente, a velocidade máxima será encontrada em um ponto um pouco abaixo da superfície. A velocidade média localiza-se aproximadamente a 0,6 da profundidade, a contar da superfície, podendo ser melhor determinada através da média das velocidades obtidas a 0,2 e 0,8 da profundidade (Figura 2.7).

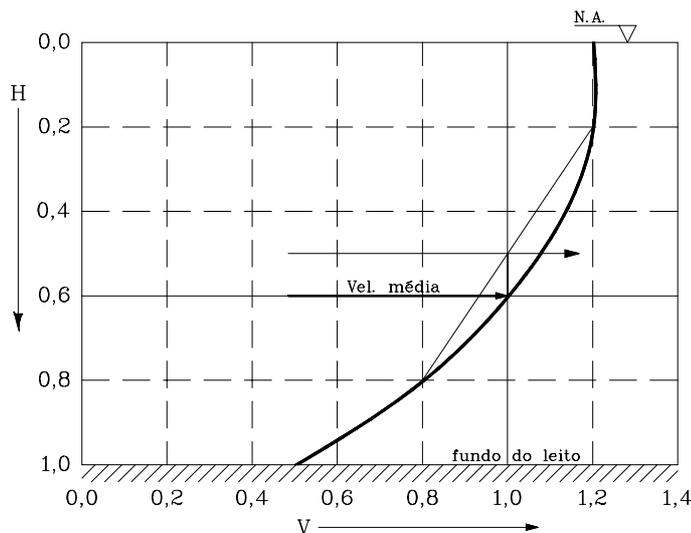


Figura 2.7.

Varição vertical longitudinal – da superfície para o fundo – da velocidade de um curso de água (Netto & Alvarez, 1982).

Em uma perspectiva transversal ao curso de água, a distribuição das velocidades é fortemente influenciada pela geometria do canal (Bandini, 1956 e Felkel, 1960). Devido ao atrito com o perímetro molhado, formas com maior raio hidráulico ( $R = \text{área da seção transversal} / \text{perímetro molhado}$ ) tendem a ter menor perda de velocidade, o que pode ser visto no esquema mostrado na Figura 2.8.

Nos canais naturais (assimétricos), as velocidades respeitam o padrão geral da forma geométrica aproximada, mas a zona de máxima velocidade é deslocada do centro para o ponto de maior profundidade.

A perda ou a transferência de velocidade também se dá com a existência de quedas e/ou sobressaltos e com as mudanças no desenvolvimento horizontal do curso. Nos canais meandrantos (Figura 2.9), a zona de maior velocidade desloca-se, por força inercial, para o raio externo das curvas, com respectiva perda de velocidade no raio interno (Durló & Sutili, 2002). As curvas causam uma resistência adicional ao movimento do líquido. Devido à força centrífuga provocada pelo movimento da água no trecho curvo, verifica-se uma sobrelevação de nível na parte externa da curva (Netto & Alvarez, 1982) e, segundo Leinz & Amaral (1978), um deslocamento do eixo do rio, ou seja, da zona de maior velocidade, nesta mesma direção.

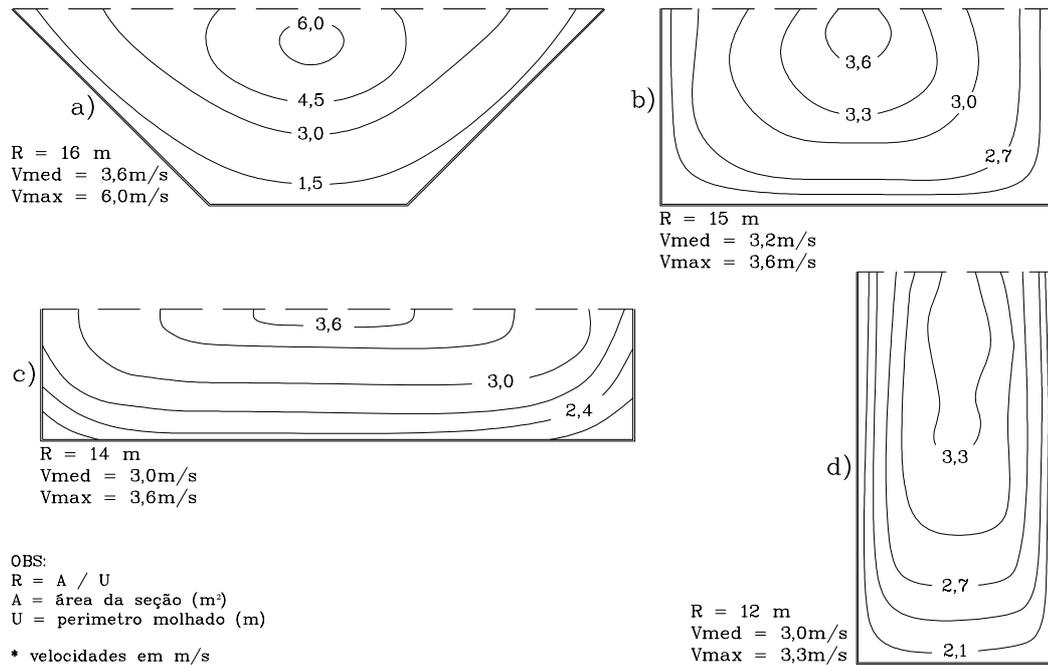


Figura 2.8.

Distribuição das velocidades da água, conforme a forma geométrica da seção transversal do canal (Lame, 1937 *apud* Christofolletti, 1981).

Acompanhando o eixo do curso de água, está a maior força erosiva e de transporte. O deslocamento do potencial de erosão e da capacidade de transporte do centro para o raio externo da curva causa a corrosão da margem e o aprofundamento do leito, neste ponto. Esse aumento da profundidade produz novo acréscimo na velocidade, deslocando ainda mais o eixo e corroendo novamente a margem em um processo contínuo e interativo.

A linha pontilhada na Figura 2.9 mostra o deslocamento da zona de maior velocidade. Vê-se que, nos perfis transversais I e III, situados em trechos retilíneos, a velocidade da água tem uma distribuição uniforme e relativamente menor próximo às margens. Ao contrário, os perfis II e IV mostram grande velocidade da água próximo ao raio externo das respectivas curvas.

A corrosão da margem, por si só, já é fonte de sedimentos. E como resultado do processo inicial de corrosão, o problema se agrava ao surgirem os escorregamentos providenciados pela corrosão da base do talude fluvial que forma a margem (Wolle, 1988).

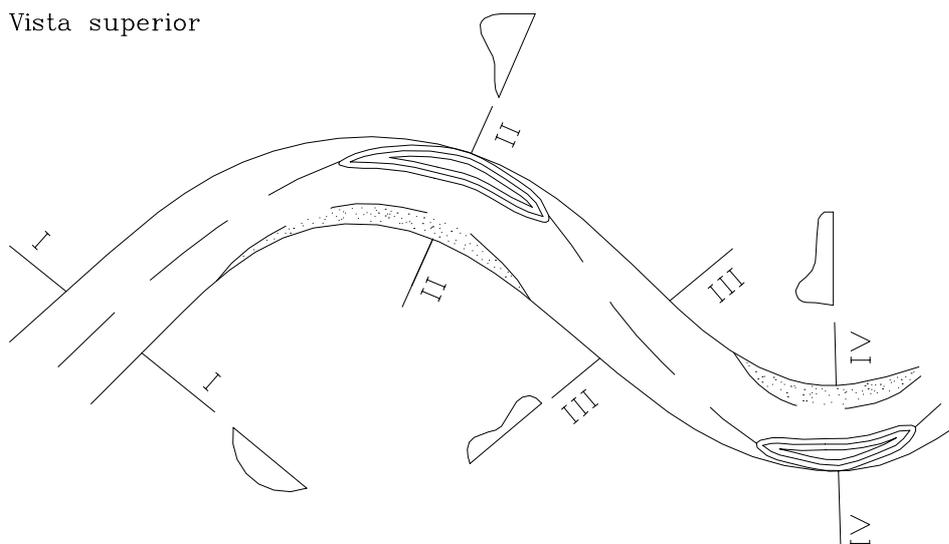


Figura 2.9.

Distribuição transversal das velocidades e do eixo em pontos característicos de um curso de água meândrico (ÖWWV, 1984).

As corrosões e deslizamentos nos raios externos produzem os sedimentos que se depositam no raio interno das curvas seguintes. Se os deslizamentos ocorrerem simultâneas e sucessivas vezes, sendo o processo de sedimentação deste material bastante prolongado e intensivo, o canal torna-se de tal maneira alargado e os meandros de tal forma complicados que deslocam o canal e suprimem trechos curvos, formando, assim, vários braços mortos que, mais tarde, são entulhados por sedimentos finos (Sawyer, 1975; Leinz & Amaral, 1978). Esta dinâmica de agradação e degradação contínua caracterizam os trechos meândricos, as ditas torrentes de planície.

A formação de taludes fluviais instáveis e, portanto, sujeitos ao movimento, é característica dos trechos curvos, mas não exclusiva destes. A presença de árvores ou touceiras de taquara 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 e iniciam a corrosão, que resulta em deslizamento e instabilidade da margem.

#### 2.1.4 – Estabilidade de taludes fluviais

A literatura que estuda a estabilidade e a mecânica das encostas naturais, de escavação ou de deposições, não é unânime em um sistema de classificação, tanto das possíveis formas de movimentos de massas, como dos seus agentes e causas (Guidicini & Nieble, 1983; Pinheiro, 2000; Durlo & Sutili, 2002). Conforme estes mesmos autores, o termo escorregamento, sinônimo de deslizamento, tem sido comumente utilizado no sentido de abranger todo e qualquer movimento coletivo de materiais terrosos e/ou rochosos, independentemente da diversidade de processos, causas, velocidade, formas e demais características. Assim, aqui será utilizado indiscriminadamente o termo deslizamento para designar toda a sorte de movimento de massa que resulte da perda de estabilidade de um talude fluvial.

Os deslizamentos são, assim como os processos de intemperismo e erosão, fenômenos naturais contínuos de dinâmica externa, que modelam a paisagem da superfície terrestre (Cassetti, 1994; Fernandes & Amaral, 1998).

Os principais fatores condicionantes na estabilidade de encostas são o tipo de substrato, a água de superfície, a chuva, a cobertura vegetal e a ação antrópica (Filho & Virgili, 1998 *apud* Pinheiro 2000).

Mesmo sem considerarmos um sistema de classificação, é importante que se revisem as causas mais comuns da perda de estabilidade de um talude, bem como que se reconheçam os seus principais agentes determinantes. Como agentes, Guidicini & Nieble (1983) fazem uma divisão entre agentes predisponentes e efetivos. Os predisponentes são o conjunto de condições geológicas, geométricas do talude e ambientais em que o movimento de massa irá ter lugar. Como agentes efetivos estão os diretamente responsáveis por desencadear o movimento, de maneira preparatória ou imediata: além das forças de origem endógena, são a temperatura, o vento e a água. No ambiente fluvial, é destacada a importância destes dois últimos, sendo a temperatura um agente somente preparatório.

A causa do movimento se dá pela ação interna ou externa ao talude, de um ou mais destes agentes. Como causas externas Durlo & Sutili (2002) citam a adição e a subtração de peso, esta última também denominada de desconfinamento por Wolle (1988).

Os fatores internos favoráveis aos deslizamentos estão geralmente relacionados à alterações no teor de umidade do solo.

Como causas internas são citadas a retirada da tensão superficial, a elevação do peso do corpo e mudança do centro de gravidade, a elevação da pressão devido ao rebaixamento rápido do lençol freático, a lavagem dos materiais cimentantes, a erosão subterrânea retrogressiva, o umedecimento repentino do solo (liquefação) e o inchamento do solo. Em geral, estes não constituem a causa exclusiva de um deslizamento, mas contribuem em diferentes graus para que isto aconteça. Além disto, dificilmente existe uma única causa desencadeadora do movimento. Vários fatores internos e externos podem combinar-se e agir simultaneamente (Durlo & Sutili, 2002).

É evidente que causas internas têm participação na perda de equilíbrio de um talude fluvial, mas é da adição e, principalmente, da subtração de peso que resultam a maioria destes deslizamentos. E são os fenômenos de adição e subtração de peso os que mais facilmente podem ser influenciados pelo homem.

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 a grande número de deslizamentos. Por outro lado, 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 pelo desenvolvimento da vegetação.

O exemplo a seguir, baseado nas informações de Caputo (1973 e 1974), Guidicini & Nieble (1983) e Durlo & Sutili (2002), elucida melhor a questão.

Considere-se a Figura 2.10 como sendo um talude fluvial sobre o qual se adiciona peso, por exemplo, devido ao desenvolvimento da vegetação ou à infiltração de água.

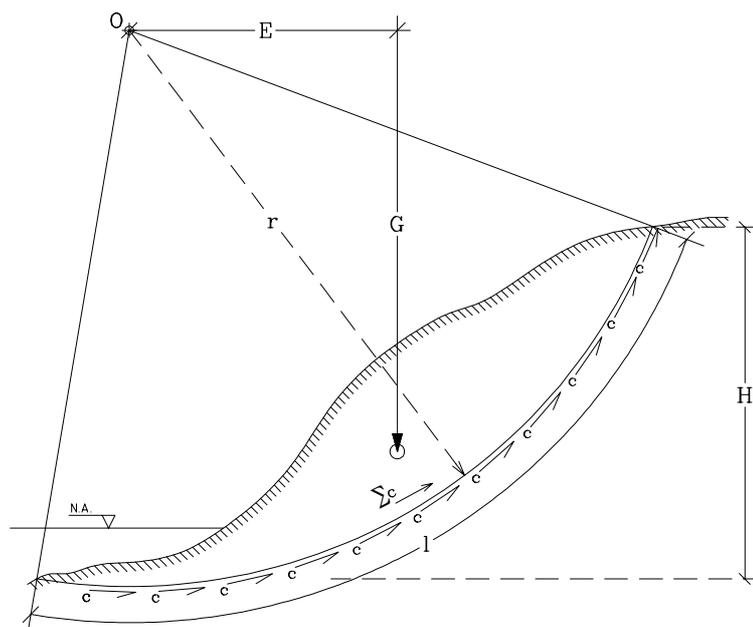


Figura 2.10.

Forças influentes no deslizamento.

Nesta encosta, para uma superfície de ruptura hipotética representada pela linha semicircular de centro em O, existe uma força de movimento (B) formada pelo peso – força normal – do corpo (G) (delimitado por esta linha) e pelo braço de alavanca (E), formado pelo centro de gravidade do corpo e seu centro de rotação (O).

$$B = E \cdot G$$

B = força de movimento (kg.m)

G = peso do corpo (kg)

E = braço de alavanca (m)

Contra esta força de movimento ao longo da linha semicircular, opõe-se a resistência do solo (R), composta pela resistência unitária ao cisalhamento (c), pelo comprimento do arco de deslizamento (l) e pelo raio de deslizamento (r).

$$R = c \cdot l \cdot r$$

R = resistência ao deslizamento (kg)

c = resistência unitária do solo ao cisalhamento (kg/m<sup>2</sup>)

l = comprimento do arco de deslizamento (m)

r = raio do deslizamento (m)

Se o peso do corpo ( $G$ ) é elevado por qualquer razão, também aumenta a força de movimento ( $B$ ). Quando esta for superior à resistência do solo à movimentação ( $R$ ), ocorrerá um deslizamento. Dito de outra forma, quanto maior for a relação  $R/B$ , mais seguro será o talude em relação ao deslizamento. Enquanto o valor de  $B$  oscila com o passar do tempo, o valor de  $R$  costuma apenas diminuir constantemente.

Da mesma maneira, a perda da base do talude, provocada pela subtração de peso ou desconfinamento do solo, favorece o escorregamento. Apesar de reduzir a força normal (peso) de forma favorável à estabilidade, o desconfinamento faz com que, simultaneamente, ocorra perda de resistência com a redução do comprimento do arco de deslizamento (de  $l$  para  $l_1$ ) e o grande aumento da força de movimento, ocasionado pelo deslocamento do centro de gravidade, que aumenta o braço de alavanca  $E$  para  $E_1$  (Figura 2.11). O somatório destas alterações, muito freqüentes em cursos de água, ocasiona uma menor estabilidade do talude.

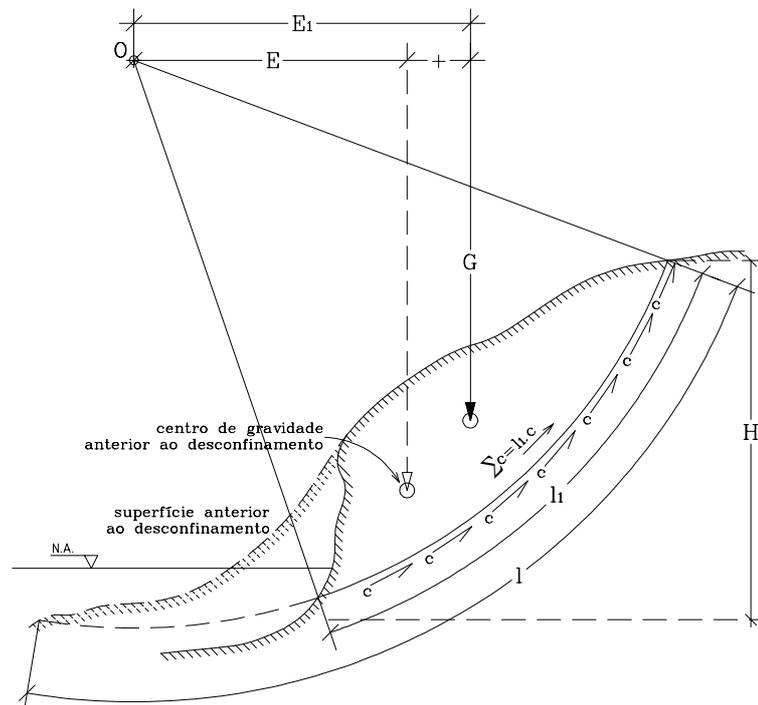


Figura 2.11.

Forças influentes no deslizamento,  
com efeito do desconfinamento na estabilidade do talude.

Com isso, o equilíbrio passa a depender muito mais da resistência unitária ao cisalhamento. Esta, por sua vez, fica na dependência das características físico-mecânicas do solo, de sua coesão e do seu ângulo de atrito interno e, por decorrência, dos seus limites de plasticidade e liquidez. O ângulo de atrito interno depende da porosidade do material, dos pontos de contato entre suas partículas e, especialmente, da umidade do substrato (solo). A coesão é resultado de um complexo de forças de natureza eletrostática, química e capilar e do tamanho e geometria das partículas, permitindo que estas se apresentem como que soldadas entre si. A umidade é, igualmente, o agente que mais influencia as características de coesão do substrato.

Devido à adição de água, além do ângulo de atrito interno, é reduzida também a própria coesão do solo. A partir de um certo conteúdo de umidade, o aumento de peso, a diminuição do ângulo de atrito interno e, especialmente, a redução da coesão, levam o terreno ao início do movimento. Quando a umidade for muito elevada, o limite de liquidez pode ser atingido, e o talude pode, simplesmente, comportar-se como um fluido e escoar.

Segundo Durlo & Sutili (2002), haverá deslizamentos quando o pé de apoio da encosta é retirado e a força normal do corpo propício à movimentação for superior às força de coesão do solo. Este evento, em um talude fluvial, inicia 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.

Os taludes fluviais freqüentemente são formados por camadas distintas de sedimentos, depositados pelo curso de água em períodos anteriores. As diferentes características destas camadas podem significar uma linha de fratura preexistente e favorecer o deslizamento.

A compreensão dos fenômenos e forças envolvidas na estabilidade de um talude fluvial torna possível que, dentro de certos limites, estes movimentos de solo possam ser previstos, prevenidos e/ou controlados.

## 2.2 – As propriedades técnicas da vegetação

A vegetação possui características técnicas que podem ser utilizadas para controlar alguns processos fluviais, principalmente estabilizando taludes.

Segundo Florineth & Gerstgraser (2000), a vegetação pode aumentar consideravelmente a tensão de erosão suportada pelo substrato. A melhoria da estabilidade do talude fica na dependência das espécies e também das técnicas de plantio utilizadas. Florineth (1982 e 1995), Gerstgraser (1998) e LfU (1996) descrevem diferentes técnicas de revegetação, capazes de suportar tensões que vão de 40 N/m<sup>2</sup> a até mais de 300 N/m<sup>2</sup>. Uma comparação destes valores com os apresentados para os substratos, com ou sem coesão, (Tabelas 2.2 e 2.3), demonstram o potencial da vegetação para a estabilidade dos taludes fluviais.

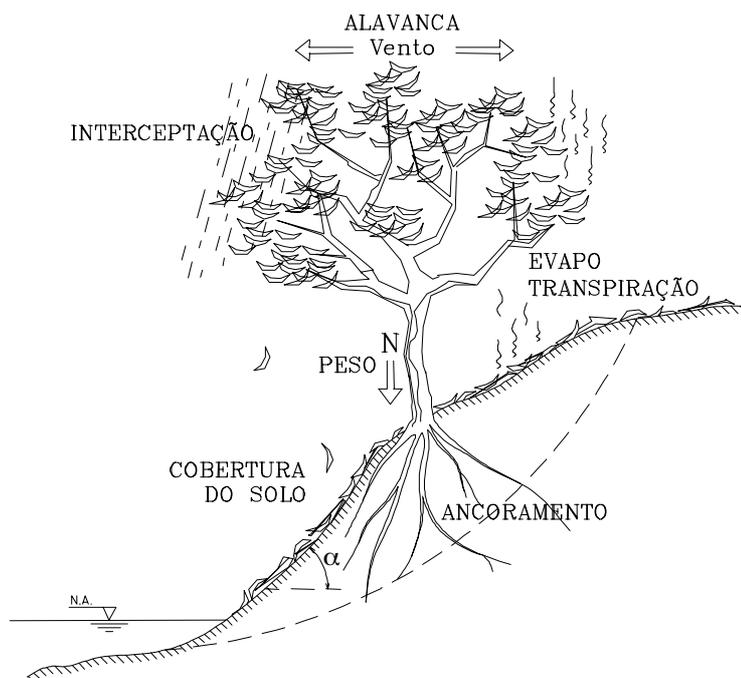


Figura 2.12.

Efeitos da presença de uma árvore na estabilidade de um talude.

É consenso generalizado que a cobertura vegetal desempenha um importante papel na proteção do solo e na prevenção dos seus movimentos coletivos, principalmente por efeito do sistema radicial que providencia um

reforço mecânico, acrescentando substancialmente sua resistência ao cisalhamento. Contudo, a vegetação origina uma sobrecarga vertical no talude, e a ação do vento sobre a copa de árvores altas transmite fortes tensões a este, enfraquecendo-o ou mesmo alavancando-o (Figura 2.12). Além disso, o teor de umidade e o nível do lençol freático alteram-se por influência da vegetação (Pinheiro, 2000).

Wolle (1986) também menciona que a cobertura vegetal pode apresentar efeitos favoráveis e desfavoráveis em relação à estabilidade dos taludes. O autor afirma que, logo após a retirada de árvores que se encontram sobre os taludes, há um acréscimo na sua estabilidade devido à eliminação de efeitos negativos de sobrecarga e efeito alavanca. Contudo, caso não haja rebrotação, este acréscimo de estabilidade tende a ser perdido com o tempo, devido ao apodrecimento das raízes, da serapilheira, e à eliminação do efeito de redistribuição da água da chuva.

A Tabela 2.4 apresenta os efeitos gerais (hidrológicos e mecânicos) da vegetação sobre a estabilidade de encostas e taludes, segundo uma concepção adaptada e alterada pelo autor, com base nos trabalhos de Guidicini & Nieble (1983), Greenway (1987) *apud* Morgan & Rickson (1995) e Pinheiro (2000).

De imediato, quando possível, ou em passos seguintes ao sucesso da estabilização das margens de um curso de água, Begemann & Schiechtl (1994) e Florineth & Gerstgraser (2000), entre outros, concordam que se deve procurar uma seqüência na vegetação em que, a partir da margem, tenha-se, na zona normalmente inundável, uma vegetação adaptada à reofilia: gramíneas e ervas, associadas à vegetação arbustiva. Somente após esta primeira faixa, admite-se a presença de árvores de pequeno e médio porte. O perfil assim formado tem justamente o objetivo de aproveitar os efeitos benéficos da vegetação, sem que se manifestem os adversos, resultantes, por exemplo, de uma sobrecarga no talude ou do efeito alavanca proporcionado por árvores de grande porte.

De acordo com Durlo & Sutili (2003), a poda da vegetação nos taludes pode ter, inclusive, o efeito de renovação e estímulo ao enraizamento, bem como resultam em um aumento da seção de vazão. A retirada (corte) singular de árvores maduras (de grande porte) não só é possível como, por vezes, necessária à manutenção da estabilidade da encosta. O corte de árvores maduras não prejudica,

necessariamente, as margens, podendo até auxiliar na manutenção da estabilidade à medida que ocorram brotações ou que as árvores sejam natural ou artificialmente substituídas. Isso traz inclusive a perspectiva de uso da madeira, o que pode vir a representar uma ferramenta de incentivo à proteção das áreas marginais.

Tabela 2.4. Efeitos da vegetação sobre a estabilidade de encostas.

A = efeito adverso da vegetação; B = efeito benéfico da vegetação.

Efeitos Hidrológicos		Efeitos Mecânicos	
Copas:			
- retêm (evaporam) parte do volume de água, reduzindo a precipitação efetiva;	B	- aumentam a força normal, pelo peso da copa e do tronco;	A/B
- reduzem a força de impacto das gotas da chuva e, conseqüentemente, da erosão;	B	- defendem o solo da ação direta dos raios solares e do vento;	A/B
- aumentam o tamanho das gotas, o que resulta em maior impacto localizado;	A	- captam as forças dinâmicas do vento e a transmitem ao talude pelo tronco e sistema radicular.	A
- reduzem a infiltração efetiva no talude, devido à evapotranspiração.	A/B		
Serapilheira:			
- aumenta a velocidade e a capacidade do armazenamento de água;	A/B	- absorve, parte, do impacto mecânico que resulta do gotejamento e do trânsito de máquinas e animais;	B
- torna irregular e reduz a velocidade do escoamento superficial da água.	B	- protege o solo de outras forças erosivas, como vento, temperatura, etc.	B
Raízes:			
- melhoram a infiltração superficial da água no solo;	A/B	- auxiliam na criação dos agregados do solo por ação física e biológica;	B
- com o aumento da porosidade do solo, melhoram a sua permeabilidade;	A/B	- aumentam, substancialmente, a resistência do solo ao cisalhamento;	B
- retiram parte da água infiltrada que será transformada ou evapotranspirada;	B	- ancoram as linhas de fratura;	B
- criam pressões neutras nos poros aumentando a coesão do solo.	A/B	- redistribuem as tensões formadas nos pontos críticos;	B
		- restringem os movimentos e ajudam a suportar o peso do talude.	B

A vegetação possui características biotécnicas que podem ser essenciais para a estabilidade natural das margens dos rios (Gray & Leiser, 1982; Begemann & Schiechtel, 1994; Morgan & Rickson, 1995; Florineth & Gerstgraser, 2000; Durlo, 2001 e Durlo & Sutili, 2003).

Morgan & Rickson (1995) salientam que características biotécnicas são as necessárias para que a planta possa, além de sobreviver, resolver um problema técnico existente, neste caso, a estabilidade de um talude fluvial.

Como características biotécnicas desejáveis, Durlo e Sutili (2003) destacam:

- Resistência à exposição parcial das raízes.
- Resistência ao aterramento parcial.
- Resistência ao apedrejamento (provindo de barrancas altas e declivosas).
- Capacidade de brotar após quebra do ápice e danos à planta.
- Sistema radicial que permita fixar o solo, quer pelo comprimento, volume ou resistência das raízes.

Na dependência de cada situação e do efeito esperado, a escolha pode recair sobre plantas (espécies) que:

- Possuam capacidade de reprodução vegetativa.
- Apresentem alta ou baixa taxa de transpiração.
- Possuam crescimento rápido ou lento.

Os autores são unânimes em afirmar que, para o sucesso na escolha das espécies, além das características biotécnicas, devem ser considerados critérios ecológicos, fitosociológicos e reprodutivos. Gray & Leiser (1982), Morgan & Rickson (1995) e Florineth & Gerstgraser (2000) afirmam que a escolha deve recair sobre espécies adaptadas ao local, normalmente as nativas deste, adaptadas às condições específicas. Além disto, devem possuir uma forma de reprodução fácil e barata. Normalmente as plantas com capacidade de reprodução vegetativa são as ideais, embora isso não exclua os métodos germinativos.

### 2.2.1 – Descrição de algumas espécies potenciais

A seguir, é apresentada uma descrição das características botânicas (informações bibliográficas) de algumas espécies aparentemente potenciais para serem usadas como ferramentas na estabilização de taludes fluviais.

*Calliandra brevipes* Benth.

Conhecida na literatura mais antiga com o nome de *Calliandra selloi* (Spreng.) Macbr., esta Leguminosa-Mimosoideae é descrita por Marchiori (1997) como sendo um arbusto inerme, de até 2 m de altura, glabro e muito ramificado. Apresenta folhas alternas, bipinado-unijugas, com pecíolo curto (2 mm) e estípulas estriadas muito pequenas (1,5 mm). Os folíolos, em 15 a 45 pares por pina, são lineares (de 2 a 6 mm de comprimento por cerca de 1 mm de largura), muito aproximados entre si, glabros, discolors, brilhantes e providos de nervura principal centrada no limbo. As flores, possuem estames conspícuos (2 a 4 cm), brancos na metade inferior e rosados ou igualmente brancos na superior, reunindo-se em capítulos axilares solitários, dispostos na extremidade de um pedúnculo pubescente, com cerca de 1 cm de comprimento. Floresce em diversas épocas do ano. Os legumes são lineares, glabros, eretos nos ramos e de cor castanha, variando de 4 a 8 cm de comprimento por cerca de 6 mm de largura, com sementes ovais e obliquamente dispostas. Embora muito dura, a madeira carece de importância devido à pequena dimensão dos caules.

Conhecida por sarandi (Burkart, 1979), quebra-foice (Longhi, 1988 e Reitz *et al.* 1988), mandaravê, angiquinho, quebra-foice-de-flor-cor-de-rosa (Reitz *et al.* 1988), esponja e mandaruvá (Lorenzi & Sousa, 1995), é uma espécie, adaptada à reofilia, ocorrendo naturalmente à margem dos rios, onde suporta submersão temporária (Marchiori, 1997). No entanto, segundo Lorenzi & Sousa (1995), pode estar a pleno sol, multiplicando-se tanto por sementes (plantas mais vigorosas) como por estacas.

*Calliandra tweedii* Benth.

Marchiori (1997) descreve esta espécie como um arbusto inerte de até 3 m de altura (segundo Lorenzi & Sousa, 1995, pode alcançar até 5 m de altura). Os ramos, pecíolo e pedúnculos são revestidos por densa pilosidade sedosa. As folhas, alternas e bipinadas, apresentam pecíolo glanduloso, grandes estípula (1,5 cm) oval-estriadas e 2 a 6 pares de pinas, com 3 a 7 cm de comprimento. Os

folíolos, variáveis de 25 a 35 pares de pina, são lineares (7 mm x 1 mm), glabros com exceção do bordo sedoso-ciliado e com nervura central. As flores agrupam-se em vistosos capítulos axilares solitários, tendo estames vermelhos muito conspícuos (cerca de 4 cm). A floração estende-se de setembro a janeiro. Os legumes, lenhosos e com 5 a 7 cm de comprimento por 8 a 9 mm de largura, apresentam margem engrossada e cor castanha, sendo revestidos por indumento velutino. Amplamente distribuída no Rio Grande do Sul, é uma espécie heliófila e seletiva higrófila, habitando principalmente a orla da mata ciliar e a margem de cursos de água.

Segundo Lombardo (1964), é originária do sul do Brasil e norte do Uruguai. Recebe nomes populares como topete-de-cardeal, quebra-foice, sarandi, mandaravê (Burkart, 1979 e Reitz *et al.* 1988), plumerillo e plumerillo-rojo (Lombardo, 1964), espinho-vermelho, rabo-de-anjo, cabelo-de-anjo, angiquinho (Reitz *et al.* 1988), esponjinha-vermelha e mandararé (Lorenzi & Sousa, 1995). Segundo estes últimos autores, é tolerante ao frio, sendo indicada para plantio em cercas-vivas, multiplicando-se tanto por semente como por estacas.

*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.

Euphorbiaceae, conhecida vulgarmente pelos nomes de sarandi e sarandi-branco. Segundo Lombardo (1964), trata-se de um arbusto que vive à margem dos rios e arroios, invadindo as águas e estendendo-se, por vezes, ao longo de quilômetros.

Cabrera *et al.* (1965) menciona esta espécie como originária do Sul do Brasil, Uruguai e nordeste da Argentina, comum à margem dos rios.

É um arbusto com 2 a 3 m de altura, glabro com ramos compridos e muito divididos e com folhas reduzidas e escamas situadas perto dos ápices. Os raminhos são delgados, sinuosos, algo comprimidos e angulados, Possui estípulas decíduas estreito-triangulares, 2 mm de comprimento com margens escariosas. Os pecíolos, de 1,5 a 2 mm, e as folhas são estreito-elípticas mucronuladas com 3 a 4 cm de comprimento, delgadas e com nervuras laterais evidentes, planas e com a face inferior pálida. Flores dióicas, bastante numerosas e dispostas em fascículos

nas axilas das folhas. Os frutos são cápsulas deprimido-globosas de 2,5 mm de diâmetro, e as sementes, quase lisas, pouco mais de 1 mm. A inserção de suas folhas é alterna e possui a característica muito especial de suas flores nascerem da base das folhas, por isso do grego *phyllos*: folhas e *anthos*: flor (Boelcke, 1981; Reitz, 1988).

Planta de caule e ramos rijos, mas flexíveis, que resistem às correntezas das águas durante as enchentes, sendo por isso indicada para fixar os terrenos contra as fortes correntezas das águas, motivo pelo qual pertence ao grupo das reófitas. Espécie heliófita e seletiva higrófito, até xerófito, adaptada às variações extremas de umidade e estio. Muito frequente, característica e exclusiva das margens rochosas ou lodosas dos rios e ilhas, em praticamente todo o Sul do Brasil, afixando-se firmemente ao substrato, uma vez que se desenvolve preferencialmente nos locais de corredeiras e cachoeiras dos rios (Reitz, 1988).

#### *Pouteria salicifolia* (Spreng.) Radlk.

Esta Sapotácea (Sapotaceae) é mencionada por Marchiori (2000) como sendo uma árvore pequena, perenifólia, de tronco curto, copa globosa e casca acizentada, dividida em placas retangulares longitudinais. Em indivíduos muito velhos, chega a alcançar 12 m de altura (segundo Reitz *et al.* (1988), de 3 a 7 metros de altura) e 80 cm de DAP. As folhas, linear-lanceoladas, subcoriáceas e brilhantes, medem de 8 a 19 cm de comprimento por 1 a 2,5 cm de largura, tendo ápice agudo, base longamente estreita no pecíolo, nervura principal saliente e numerosas nervuras secundárias, visíveis nas duas faces. As flores, produzidas em fascículos axilares sésseis, são esbranquiçadas e de suave perfume, que lembra o da violeta. Apresentam quatro sépalas estrioso-pubescentes, corola com quatro lóbulos obtusos e ciliolados, alternados com igual número de estaminódios petalóides, quatro estames presos à base do tubo da corola e ovário globoso, coberto por densa pubescência sedosa. O fruto, provido de breve estípe engrossado (4 a 6 mm) e ápice rostrado-acuminado, mede de 4 a 5 cm de comprimento por cerca de 1,5 cm de diâmetro, contendo uma única semente, ovóide.

Reitz *et al.* (1988) e Marchiori (2000) atribuem-lhe as características de espécie ripária e reófila, freqüente e importante para o reflorestamento das margens dos rios. Marchiori (2000) reconhece-a pelos nomes vulgares de mata-olho e sarandi-mata-olho, explicando a origem do nome pelo fato de emitir fumaça prejudicial aos olhos, quando a madeira é queimada, o que não impede o uso de sua madeira, com densidade de 0,69 g/cm<sup>3</sup> (Biloni, 1990), como lenha. Reitz *et al.* (1988) soma à utilidade da madeira o uso para a confecção de cabos de ferramentas.

*Salix humboldtiana* Willd.

Marchiori (2000) descreve o salseiro como uma árvore de porte médio (20 m), com tronco reto, inclinado ou tortuoso, de até 90 cm de diâmetro, e copa ampla, de ramificação ascendente. A casca, espessa e com profundas fissuras é dura e castanho-acinzentada. As folhas, simples, linear-lanceoladas ou falcadas, alcançam até 15 cm de comprimento por 1,5 cm de largura. Caducas, glabras e curtamente pecioladas (4 a 6 mm), apresentam ápice acuminado, base aguda e margem serrada, com nervura central proeminente. As flores, unissexuais e aperiartadas, reúnem-se em amentilhos pendentes na extremidade dos ramos novos. As sementes, muito pequenas, apresentam um tufo de pêlos sedosos esbranquiçados, responsáveis pela dispersão anemocórica.

O mesmo autor ainda evidencia que o salso é uma das árvores mais características e de maior porte na mata ciliar, ocorrendo na maior parte do Rio Grande do Sul. Sua área de dispersão é, todavia, muito ampla, estendendo-se desde o México até a Argentina e Chile. Sua folhagem é de cor variável ao longo da estação de crescimento: verde-clara no início da primavera, verde-escura durante o verão e amarela no outono.

De acordo com Lorenzi (1992), trata-se de uma espécie útil no controle da erosão, indicada especialmente para reflorestamentos em margens de rios, barragens e açudes. Possui fácil reprodução por estaquia e sementes de curta viabilidade em armazenamento. Floresce durante a primavera (setembro e outubro), amadurecendo seus frutos no final da primavera até o início do verão.

Reitz *et al.* (1988) comenta que o salgueiro, segundo denominação sua, é particularmente freqüente nas baixadas da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. Trata-se de uma árvore de rápido e vigoroso crescimento que, sobretudo em solos muito úmidos e de elevada profundidade, contribui para a drenagem das várzeas brejosas. Tem extraordinária facilidade e eficiência de multiplicação vegetativa. A madeira, leve (0,49 g/cm<sup>3</sup>), clara e sem distinção entre cerne e alburno, apresenta baixa durabilidade natural, restringindo sua utilização para caixotaria e obras internas. Também presta-se para a fabricação de celulose e papel, bem como possui flores nectaríferas. E a casca, à maneira das Salicáceas (Salicaceae), possui salicina, substância de propriedades antitérmicas, sedativas e antiespasmódicas.

*Sebastiania schottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg.

Conhecida vulgarmente por nomes como sarandi-negro, sarandi-vermelho e saranduba. Lombardo (1964) denomina esta Euphorbiaceae de branquilha, apesar de ser este nome aplicado, também, a outras espécies do mesmo gênero, como *S. brasiliensis* e *S. commersoniana*, estas, presumivelmente sem importância biotécnica. Este autor descreve *Sebastiania schottiana* como sendo uma árvore de pouca altura, que cresce à margem de rios e arroios e, até mesmo dentro da água.

A descrição que Marchiori (2000) dá para a espécie é a seguinte: arbusto totalmente glabro, de 3 a 3,5 m de altura, com ramos longos, pouco ramificados, espinescentes e muito flexíveis. Folhas, simples, alternas, de pecíolo curto (2 a 4 mm), membranáceas e lanceoladas, variam de 1 a 5 cm de comprimento por 4 a 15 mm de largura, apresentando ápice obtuso ou brevemente agudo-mucronado, margem inteira, com uma ou duas glândulas engrossadas inferiormente e base cuneado-estreita. Discolores e esbranquiçadas na face inferior, possuem de 7 a 10 nervuras secundárias evidentes, em cada lado da principal. As flores, pequenas e amareladas, são produzidas em espigas terminais, sobre raminhos muito curtos (1 a 2 cm). O fruto é uma cápsula globosa, de uns 5 mm de diâmetro.

Cabrera *et al.* (1965) lembra que as flores são unissexuadas. As femininas ocorrem na base das espigas e, no alto, as masculinas com 3 estames quase livres.

Marchiori (2000) destaca que esta espécie é conhecida no Rio Grande do Sul por amarelo, sarandi ou sarandi-de-espinho. Apresenta uma vasta dispersão na bacia do Prata e região da Floresta Atlântica, ocorrendo desde Goiás, Minas Gerais e Rio de Janeiro, até o Uruguai e nordeste da Argentina. Trata-se de espécie heliófila, seletiva higrófila (Reitz, 1988, afirma que a espécie é seletiva higrófila até xerófila, adaptada às variações extremas de umidade ou seca) e altamente adaptada à reofilia, dispondo de um denso sistema radicial e de caules rijos, embora flexíveis, capazes de suportar a força das águas nas enchentes. O amarelo cresce à margem de rios e até mesmo cachoeiras, como nos lajeados do salto do Yucumã, no Rio Uruguai. Como espécie reófila, assume grande importância ecológica, auxiliando na fixação de barrancos e na perenização dos cursos de água. A madeira carece de utilização devido ao pequeno diâmetro dos caules.

Reitz (1988) menciona nomes vulgares como içaranduba, assobio-de-macaco e espinho-de-olho e reconhece duas variedades: a variedade *schottiana* e a variedade *angustifolia*, sendo esta, distinta por apresentar folhas mais estreitas que a primeira.

#### *Terminalia australis* Camb.

Trata-se de uma Combretácea (Combretaceae), chamada vulgarmente por Reitz (1967) de amarelo ou sarandi-amarelo, e descrita pelo mesmo autor como sendo uma árvore pequena ou um arbusto que floresce em outubro e novembro e frutifica de dezembro a março.

Marchiori & Sobral (1997) descrevem-na como uma árvore pequena (até 10 m), de copa baixa umbeliforme, com ramos muito flexíveis e delgada casca acidentada, provida de fissuras superficiais. O tronco, de até 30 cm de diâmetro e normalmente ramificado desde a base, fornece madeira amarelada. Apresenta folhas simples, alternas, inteiras, curtamente pecioladas, de 2 a 7 cm de comprimento por 1 cm de largura, com forma elíptico-lanceolada ou linear-lanceolada e base cuneada, verde-claras e glabras na fase superior, são pilosas na inferior, quando jovens. As flores, pequenas (5 mm), apétalas e unissexuais,

encontram-se em inflorescências axilares paucifloras e pedunculadas (2 a 5 cm). Os frutos medem 2 a 3 cm de comprimento e são providos de duas asas opostas.

Reitz *et al.* (1988) acrescenta tratar-se de uma árvoreta decidual ou semidecidual, de flores brancas e pouco vistosas, com frutos secos de cor de palha seca quando maduros. A madeira é amarela e de textura fina e muito homogênea, moderadamente pesada. Fornece excelentes características ornamentais para laminados, objetos de luxo, aparelhos de precisão, peças de xadrez, réguas, botões, canzís e cabos de ferramentas de que não há necessidade de troncos grossos e compridos.

Segundo Reitz (1967), a árvoreta ou arbusto pode ser reconhecida na prática por ser semi-decidual flexuosa e geralmente inclinada por sobre os rios, muito abundante ao longo dos mesmos, tendo ramos finos e compridos, pendentes à maneira dos chorões. Folhas pequenas, quase sésseis e condensadas no ápice dos ramos.

Reitz (1967), Reitz *et al.* (1988) e Marchiori & Sobral (1997) concordam que esta espécie seletiva higrófila, juntamente com a *Pouteria salicifolia*, *Calliandra brevipes*, *Phyllanthus sellowianus* e *Sebastiania schottiana*, é das mais características das florestas ciliares no sul do Brasil e que suporta muito bem a força das águas nas enchentes, devido aos seus ramos flexíveis e a seu denso sistema radicular. Reitz *et al.* (1988) chega a recomendá-la para prolongar a vitalidade das hidroelétricas, por evitar a erosão.

Foram relacionadas e descritas algumas espécies com características aparentemente importantes para a estabilização das margens (taludes) fluviais. No entanto, outras espécies, mesmo as que não possam ser reproduzidas vegetativamente mas que, de alguma maneira, possam ser facilmente disseminadas e produzam os efeitos esperados, também devem ser consideradas. Gramíneas e ervas podem ser grupos de plantas, igualmente promissores.

No Anexo Fotográfico (A), pode-se observar algumas das espécies mencionadas ao longo do trabalho.

## **2.3 – A engenharia biotécnica (bioengenharia)**

### 2.3.1 – Definição.

O conhecimento das exigências e características biológicas da vegetação e de sua capacidade para a solução de problemas técnicos de estabilização de margens e encostas, combinado com a construção de obras de grande simplicidade, caracteriza o que é chamado de bioengenharia, engenharia biológica ou ainda engenharia biotécnica (Begemann & Schiechtl, 1994; Florineth & Gerstgraser, 2000; Durlo, 2001; Durlo & Sutili, 2003).

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

Segundo Binder *et al.* (1983), na engenharia biotécnica, ao invés do uso de materiais artificiais, recorre-se à vegetação, como meio de proteção das margens dos curso de água.

A engenharia biotécnica vale-se de técnicas-biológicas (biotécnicas) em que plantas, ou partes destas, são usadas como material vivo de construção. Sozinhas, ou combinadas com materiais inertes, tais plantas devem proporcionar estabilidade às áreas em tratamento (Schiechtl & Stern, 1992).

A bioengenharia também é chamada de ‘construção verde’ ou ‘construção viva’. Esse conjunto de técnicas de construção serve-se das características biológicas da vegetação para estabilizar encostas de terrenos e margens de cursos de água (Schiechtl & Stern, 1994).

Morgan & Rickson (1995) acreditam que os vários termos utilizados na literatura provocam confusão no momento de uma definição precisa. Sugerem que o termo bioengenharia seja usado para designar os métodos que se valem somente da vegetação como ferramenta. E que engenharia biotécnica se refira às técnicas nas quais a vegetação é, efetivamente, combinada com estruturas inertes. No entanto, neste trabalho, os termos bioengenharia e engenharia biotécnica serão usados como sinônimos.

### 2.3.2 – Histórico e benefícios

De acordo com Schlüter (1984) *apud*. Florineth & Gerstgraser (2000), há registros que cuidam das propriedades técnicas da vegetação que datam do Império Romano. Leonardo da Vinci já teria feito referência à importância do sistema radicial dos salseiros, na fixação das margens dos canais. Contudo, é somente a partir do século XVII que trabalhos e descrições de técnicas de bioengenharia começam a aparecer na Europa.

O uso de métodos de bioengenharia remonta ao século XII (Brasil, 2003). Nessa época, já se utilizava, na China, feixes de galhos para a estabilização de taludes. No século XX, técnicas semelhantes foram utilizadas na China para controle de enchentes e erosões no Rio Amarelo. Na Europa, especialmente na Alemanha, métodos de bioengenharia têm sido utilizados há 150 anos. O uso da bioengenharia nos Estados Unidos data os anos de 1920, nos quais foram realizadas estabilizações de erosões em margens de rios e taludes. Depois da Segunda Guerra Mundial, com o aumento do emprego de equipamentos para movimentação de terra e com o surgimento de técnicas estruturais para estabilização de erosões, as práticas de bioengenharia desapareceram. Nos últimos 20 anos, principalmente nos Estados Unidos e Europa, as técnicas de bioengenharia têm sido utilizadas e reconhecidas cada vez mais como excelentes alternativas no combate à erosão (Brasil, 2003).

Segundo Schiechtl (1973, 1980), na Europa (especialmente na Alemanha, Suíça e Áustria) e nos Estados Unidos da América, o uso das técnicas de bioengenharia – e/ou da engenharia biotécnica – já ocorre há décadas. E é justamente com os trabalhos de Hugo Meinhard Schiechtl, iniciados na década de 50, que a bioengenharia ganha força, e cada vez mais a vegetação passa a ser entendida como uma ferramenta importante na estabilização de encosta e perenização de cursos de água.

As biotécnicas passam a ser uma promissora alternativa a algumas técnicas tradicionais. Morgan & Rickson (1995) ressaltam ainda que, atualmente, a engenharia civil está cada vez mais reconhecendo a importância da vegetação nos trabalhos de construção. Acima de tudo, pelas qualidades estéticas que se pode ter,

com este tipo de obra. De acordo com os mesmos autores, a bioengenharia é um clássico exemplo no qual arte e ciência se relacionam significativamente.

Para Durlo & Sutili (2003), as biotécnicas podem trazer, em comparação com outros métodos, ganhos ecológicos, econômicos e estéticos. Na dependência dos objetivos e do tipo de construção, pode-se dar mais ênfase a um ou a outro destes aspectos.

### 2.3.3 – Princípios, tipologia e funções (para o manejo dos cursos de água).

A estabilidade de uma margem pode ser buscada, reduzindo a velocidade média da água e, assim, o seu potencial de erosão e/ou aumentando as forças de resistência do talude. As biotécnicas podem produzir um ou outro destes efeitos ou mesmo os dois, simultaneamente.

Assim, reconhecem-se as obras transversais e as obras longitudinais. As primeiras têm como principal efeito a redução da velocidade da água através do desenvolvimento de um perfil de compensação que modifica a inclinação original do leito e, conseqüentemente, força o depósito de sedimentos, consolida o leito e estabiliza as margens. Isso é conseguido com a construção das chamadas barragens de consolidação, soleiras ou cintos basais.

Já as obras longitudinais não alteram a declividade do leito e sua função é mais especificamente reconstruir e/ou proteger e estabilizar as margens. Isso pode ser conseguido tanto com o revestimento vegetal e/ou físico das margens como com a construção de râmprolas (defletores) que visam, igualmente, reduzir a velocidade da água e forçar o depósito de sedimentos no local desejado, mas sem alterar a declividade do fundo do leito.

Os revestimentos buscam conferir a margem (talude) maior resistência à força da água e podem ir de um simples enrocamento com pedras, passando pelo uso de cilindros inertes e gabiões, à construção de paredes de madeira roliça, ferro ou concreto, combinados à modelos especiais de revegetação (Gray & Leiser, 1982; Begemann & Schiechtl, 1994; Florineth & Gerstgraser, 2000; Durlo & Sutili, 2003).

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 (Florineth & Gerstgraser, 2000).

Segundo Morgan & Rickson (1995), a bioengenharia dá prioridade à reprodução vegetativa. Contudo, os métodos germinativos são importantes em situações específicas, sendo normalmente utilizados de maneira associada ou complementar aos tratamentos vegetativos.

As principais formas de plantio mencionadas na literatura são relacionadas e resumidamente explicadas na Tabela 2.5.

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 ou seixos, obrigados ao trabalho em conjunto, através de estruturas feitas com arames, telas ou madeira (Durlo & Sutili, 2003).

Schiechtl & Stern (1994) salientam que – contrariamente aos métodos tradicionais – no tratamento de curso de água com o uso de biotécnicas, deve-se 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 da água 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, e, ao fazer exploração agrícola ou florestal das áreas ribeirinhas, ter em vista a proteção dos rios.

Além da solução técnica do problema, devem ser considerados os critérios ecológicos, econômicos e estéticos. Procura-se, assim, manter a morfologia do canal natural, com meandros e perfis transversais assimétricos, e sugere-se a preservação ou a criação de habitats naturais para a flora e a fauna. Tenta-se evitar construções grandes e pesadas, procurando-se modificar o mínimo as condições naturais preexistentes (Durlo, 2001).

Tabela 2.5. Possíveis formas de plantio utilizadas pela bioengenharia.

Nome	Breve descrição	Característica principal (função)
<b>Métodos vegetativos</b>		
1. Estacas	Estacas simples, com cerca de 40 cm, que são cravadas no talude.	Fácil implementação, preparo e transporte do material vegetal. Resultados menos imediatos. As estacas podem ser facilmente levadas pela força da água.
2. Feixes	Ramos longos, amarrados, formando feixes. São usados parcialmente enterrados e fixados com estacas e pedras, dispostos transversalmente à inclinação do talude.	Além do efeito normal, esperado pelo desenvolvimento da vegetação, produz imediatamente uma proteção física. É a forma ideal para ser usada entre os vãos das estruturas de madeira.
3. Banquetas	Degraus transversais a inclinação do talude são preenchidos com estacas, que são, por vezes, presas com madeira e/ou pedras e, ao final cobertas com solo.	Ideal para taludes artificiais, como os que resultam da construção de estradas, e onde se queira criar um efeito de retenção dos sedimentos que descem da encosta.
4. Esteiras	Ramos no seu máximo comprimento são dispostos acompanhando a inclinação do talude e com as suas bases dentro da água, firmemente presas por pedras e/ou troncos. Pilotos de madeira com varas de bambu ou arame são usados para fixar os ramos contra o talude, sendo tudo coberto por uma fina camada de solo.	Restringe-se a taludes fluviais e requer uma grande quantidade de material vegetal. Quando possível de ser implantado, produz os efeitos mais rápidos. Muito eficiente em taludes nos quais a força da água é de impacto frontal. Logo após a implantação já suporta tenções muito altas.
5. Tranças	Ramos longos têm suas bases encravadas no solo e são trançados entre pilotos (vivos ou inertes).	Produz ótimos efeitos quando usado para proteger a linha da água em pequenos cursos e para reter sedimentos em taludes que não sofram impacto frontal da água.
6. Leivas	Leivas, normalmente de gramíneas, são transplantadas para a área, que é completamente recoberta ou o plantio pode ser feito em faixas ou quadrículas.	Pode produzir um efeito estético e de proteção quase imediato. É caro e não muito importante para taludes fluviais de grande instabilidade.
<b>Métodos germinativos</b>		
1. Sementes	Sementes são lançadas manualmente sobre o talude, previamente modelado.	Suficiente para locais com pequena inclinação. Em taludes fluviais, é normalmente uma medida complementar.
2. Geotêxteis	Malhas construídas com restos culturais ou fibras vegetais degradáveis são impregnadas de sementes e adubos e fixadas, com estacas, contra o talude.	Uma das alternativas mais caras, mas produz estabilização rápida. Pode ser usada em taludes muito íngremes e bastante degradados.
3. Hidrosemeadura	Sementes são misturadas à água, cola e adubo e lançadas mecanicamente sobre o talude.	Método dispendioso técnica e economicamente. Rápido e fácil de ser implantado quando se dispõe dos recursos. Importante para locais de difícil acesso.
4. Mudas	Mudas são produzidas em viveiros e, quando adquirem o tamanho ideal, são plantadas no talude.	É importante para as espécies que não se reproduzem vegetativamente bem.

Muitas vezes, os efeitos da corrosão e dos deslizamentos em um talude fluvial evoluem a tal ponto que o desenvolvimento de vegetação torna-se difícil ou mesmo impossível. Assim, segundo FISRWG (1998), quando o declive apresentado pelo talude da margem de um curso de água não proporcionar a estabilidade necessária, o primeiro passo é redesenhá-lo, buscando um gradiente adequado. Em gradientes superiores a aproximadamente 1:1 (45°), o restabelecimento da vegetação torna-se muito difícil, necessitando-se do uso de métodos mais tradicionais, com um maior investimento em estruturas inertes ou o uso de geotêxteis.

A forma do topo do declive também é importante, não devendo ser abrupta. Uma extremidade arredondada, que produza uma transição gradual entre o declive e a linha do terreno, é muito mais propícia para o desenvolvimento da vegetação (Animoto, 1978). A atenuação do ângulo vivo, formado entre a linha do chanframento (declive) e o nível do terreno, aplicando-se um coroamento com raio de  $\pm 5$  metros, é, normalmente, suficiente para minimizar o potencial físico de erosão, típico desta região (Sutuli *et al.* 2004).

FISRWG (1998) aconselha o uso de diferentes técnicas de estabilização, com base na inclinação do talude (Figura 2.13).

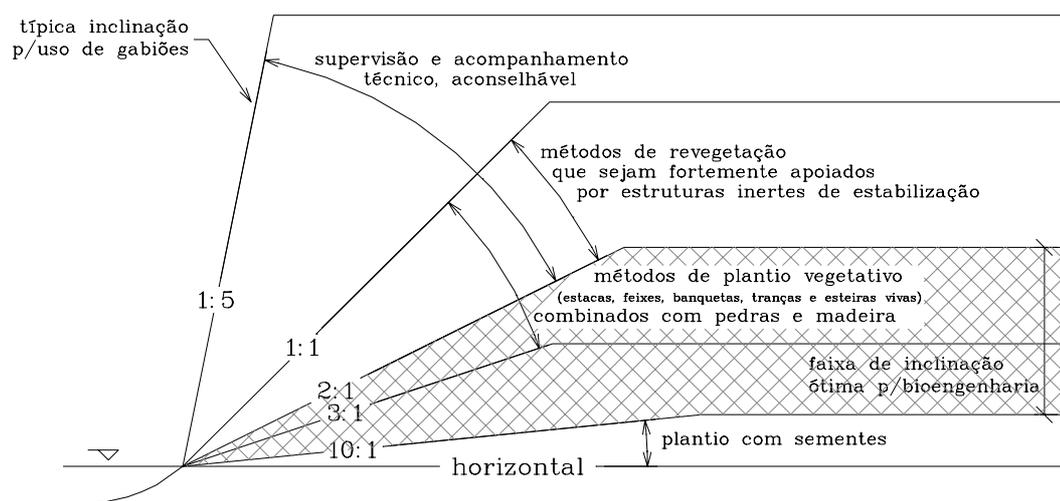


Figura 2.13.

Determinação do método apropriado em função da inclinação da margem (FISRWG, 1998).

Declives cortados em terraços pequenos e produzindo inclinações de 3:1 podem ser mais adequados, proporcionando melhor acúmulo de umidade e melhorando o desenvolvimento das plantas (FISRWG, 1998).

No caso da margem de um curso de água, Sutili (2001) ressalta que a corrosão acontece pela retirada do apoio do talude da margem devido à força da correnteza junto à faixa que acompanha o nível normal da água. Esta região deve, então, receber atenção especial, principalmente com o apoio de materiais inertes que auxiliam o futuro estabelecimento da vegetação.

Salientam Begemann & Schiechl (1994) 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.

Os princípios da bioengenharia são conhecidos e aplicados há um bom tempo em diversos países. No Brasil, entretanto, são ainda pouco conhecidos, dada a falta de uma visão sistemática, decorrente de estudos, observações e experimentos, que permitam sua difusão e utilização (Durlo & Sutili, 2003).

A área de drenagem do arroio Guarda-mor, como será demonstrado, é típica para uma região significativa do Estado do Rio Grande do Sul. A maioria dos cursos de água de dimensões semelhantes que descem do Planalto Gaúcho para a Depressão Central, apresentam similaridade com o Guarda-mor. Assim, tem-se razões suficientes para se acreditar que as informações levantadas e as formas de manejo biotécnico testadas podem ser válidas, com as devidas adaptações, também para outros cursos de água da região.

As informações trazidas neste capítulo têm como principal fonte o manuseio de mapas e a consulta bibliográfica. Não se tem, aqui, a pretensão de detalhamentos espaciais e quantitativos, dando-se mais importância a descrições genéricas, descritivas e práticas, que são normalmente válidas, não só para a bacia do Guarda-mor. São valorizadas algumas observações dedutivas, mas sempre de caráter objetivo.

Inicialmente, são apresentadas as características gerais da região em que a área em estudo se encontra e, posteriormente, são discutidas características mais específicas da bacia, principalmente as relacionadas aos seus processos fluviais.

### **3.1 – Caracterização geral**

Neste item, são reunidas as informações de caráter macro-ecológico, como localização, hidrografia, clima, geomorfologia, geologia, solos, vegetação original e atual, bem como as formas atuais de usos da terra.

### 3.1.1 – Localização e hidrografia

Situado na região central do Estado do Rio Grande do Sul, o arroio Guardamorne-se ao Rio Mello cerca de 600 metros antes do seu deságüe no Rio Soturno, que, por sua vez, é tributário do Rio Jacuí, principal curso de água que contribui à laguna Guaíba (Figura 3.1).

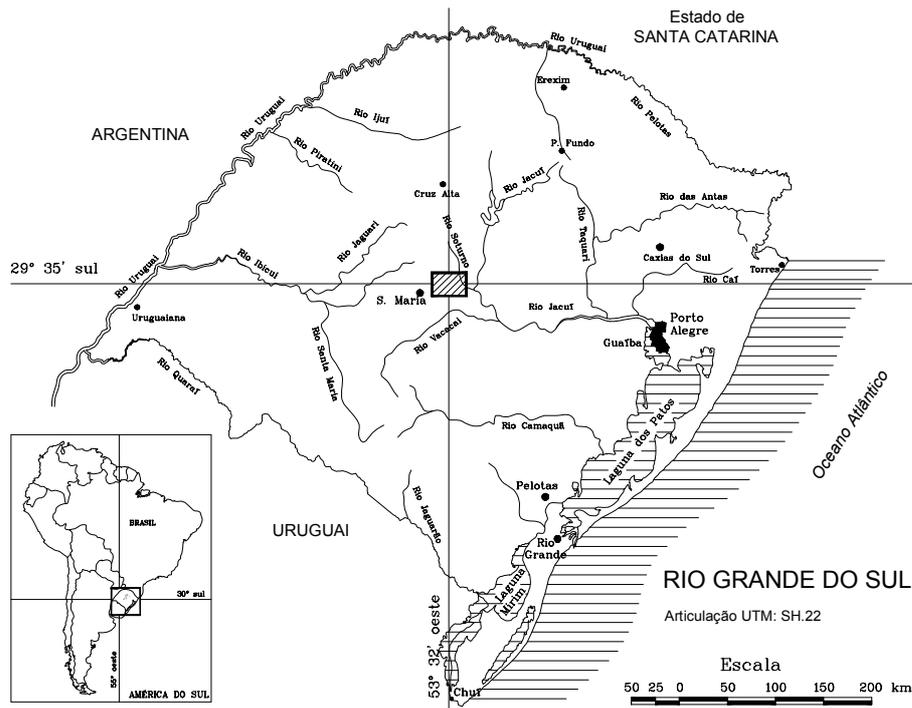


Figura 3.1.

Localização e hidrografia do Estado do Rio Grande do Sul.

A área destacada ao centro do Estado, na Figura 3.1, está ampliada na Figura 3.2, na qual é mostrada a divisão política da área, sobre um mosaico produzido com aerofotogramas pancromáticos de um vôo realizado em 1996 pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do Exército Brasileiro.

A cabeceira do arroio faz a divisa dos municípios de Ivorá, ao norte (1), e de Silveira Martins, ao sul (2), pertencendo uma menor parte no extremo oeste (3) ao município de Júlio de Castilhos, na altura do distrito de Três Mártires. O terço jusante da área de drenagem (4) pertence ao município de Faxinal do Soturno (Figura 3.2).

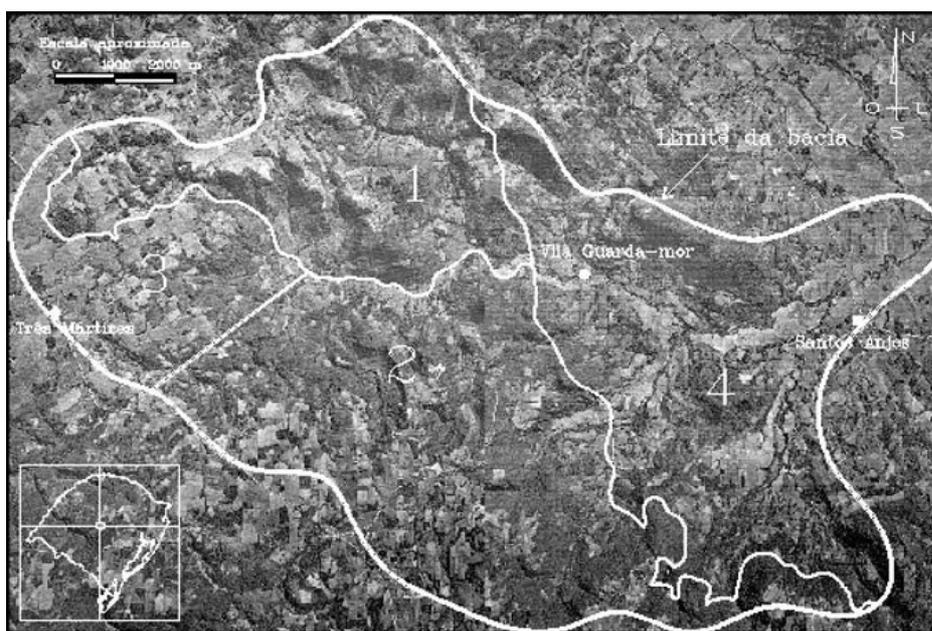


Figura 3.2.

Divisão política da área de drenagem do arroio Guarda-mor.

### 3.1.2 – Clima

O clima desta região do Estado é subtropical do tipo Cfa 2, segundo a classificação de Köppen (Moreno, 1961), o que corresponde a condições climáticas úmidas, com verões quentes e chuvas bem distribuídas durante o ano.

No entanto, eventualmente, pode ocorrer déficit hídrico nos meses de temperaturas mais elevadas, relativo ao período de novembro a março. A temperatura média da região é de 19° C e a precipitação de 1700 mm. O diagrama climático da Figura 3.3 mostra a variação anual da temperatura e precipitação.

Por outro lado, a ocorrência de precipitações que podem somar 2500 mm anuais, alcançando mais de 400 mm nos meses mais chuvosos, marcam os chamados anos de ‘El Niño’, que ocorrem com uma frequência de  $\pm 5$  anos.

Os dados utilizados para compor o diagrama climático mostrado na Figura 3.3. são provenientes da estação agrometeorológica da Universidade Federal de Santa Maria, que fica há 18 km da nascente do arroio Guarda-mor.

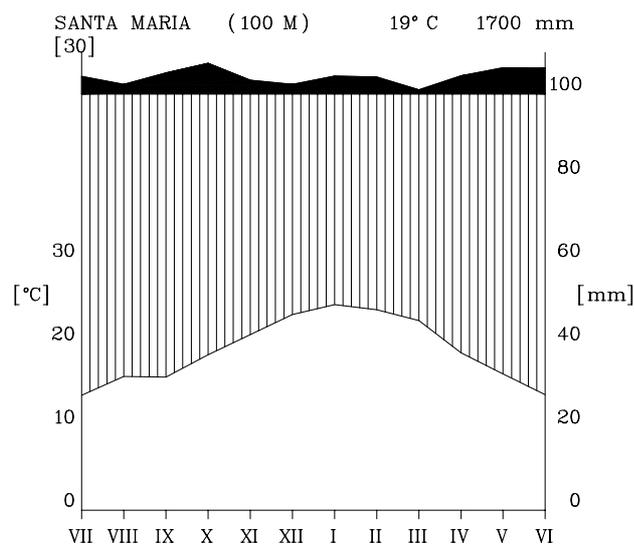


Figura 3.3.

Diagrama climático da região de Santa Maria.

### 3.1.2 – Geomorfologia, geologia e solos

A metade norte do Rio Grande do Sul (Alto Uruguai, Missões, Planalto Médio, Encosta Inferior do Nordeste, Encosta Superior do Nordeste, Campos de Cima da Serra), e mesmo a região da Campanha pertence ao grande compartimento geomorfológico do Planalto Meridional Brasileiro, subdividido em topo (o Planalto propriamente dito) e o Rebordo do Planalto, que dá forma à Serra Geral (Figura 3.4). Esta serra possui uma escarpa nordeste (cerca de 150 km), aproximadamente paralela à costa, que é a feição mais proeminente do Estado (relevos locais de até 1000 m), e outra escarpa que se estende de leste a oeste, formando uma borda profundamente recortada e erodida.

A escarpa de orientação leste – oeste é conhecida como Rebordo do Planalto ou vertente sul da Serra Geral. São frentes abruptas que descem formando patamares escalonados do norte para o sul, em direção da Depressão Central Gaúcha. Esta região fisiográfica (Depressão Central) ocorre sobre um compartimento geomorfológico de mesmo nome, que é subdividido em áreas de coxilhas e de planícies aluviais. O Rio Jacuí nasce do Planalto e possui sua cabeceira fortemente encaixada no Rebordo; após, passa a descrever o seu curso

entre as planícies e coxilhas da Depressão Central, ao sopé da escarpa leste – oeste da Serra Geral. As pequenas variações altimétricas destas áreas só são interrompidas pelos relevos residuais relacionados à Serra Geral, que testemunham a profunda reesculturação e recuo para o norte, devido aos processos de erosão e ao entalhamento regressivo dos cursos de água que drenam a encosta. O arroio Guarda-mor é um destes pequenos cursos de água que drenam a escarpa leste – oeste da Serra Geral, nascendo no Planalto e alcançando a Depressão Central, com diferença entre o topo e o talvegue que supera 400 metros.

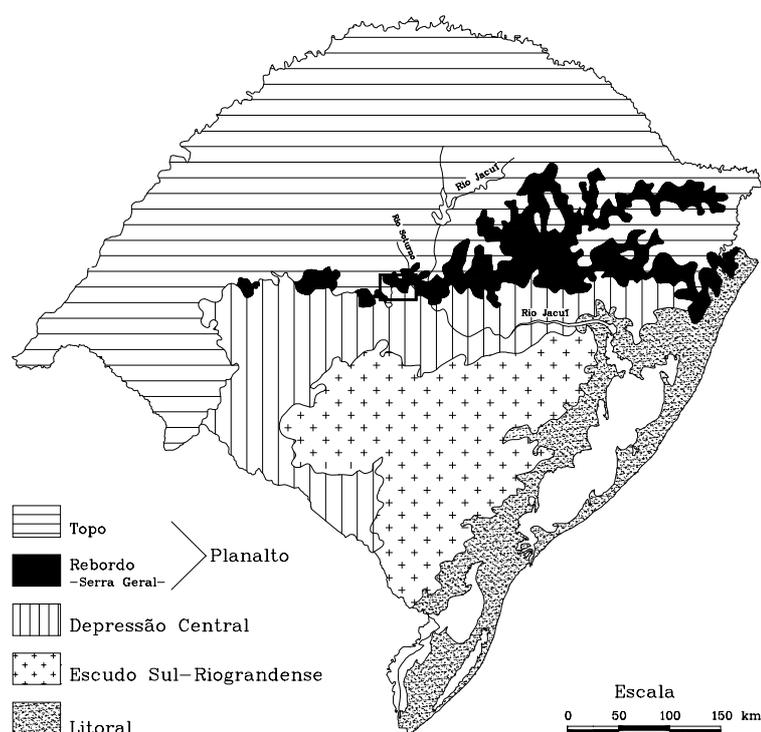


Figura 3.4.

#### Compartimentação geomorfológica do Estado do Rio Grande do Sul.

Segundo Pontelli (1994), a formação geológica do Reborde do Planalto pertence à seqüência sedimentar gonduânica que preencheu a Bacia do Paraná (Formação Santa Maria, Caturrita e Botucatu), assim como 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), conforme pode ser observado na Figura 3.5.

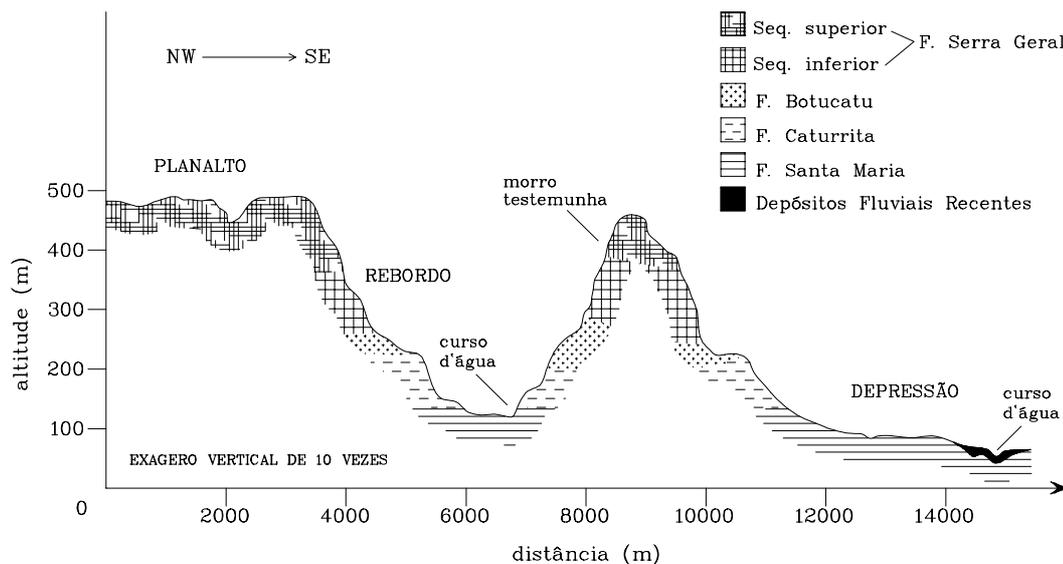


Figura 3.5.

Perfil topográfico-geológico (adaptado do mapa geológico da carta de Camobi).

A Figura 3.5 mostra a seqüência litológica, normalmente encontrada em um corte transversal do Rebordo do Planalto, na região em questão.

No Planalto, onde ocorre o segmento superior da Formação Serra Geral, o relevo é suavemente ondulado e, na maior parte, predominam solos profundos e fortemente intemperizados, os Latossolos. À medida que se aproxima o Rebordo do Planalto, as inclinações tornam-se mais evidentes, e se inicia a ocorrência de Argissolos, de profundidade mais variável. A parte superior do Rebordo do Planalto propriamente dito é constituída de frentes abruptas e escarpadas que expõem tanto a seqüência superior quanto a inferior da Formação Serra Geral. Nestas áreas, ocorrem tanto Argissolos como Neossolos Litólicos. Devido à instabilidade destas encostas, os deslizamentos e o entalhamento regressivo acabam expondo constantemente as rochas. Na seqüência, está a Formação Botucatu e, ao sopé dos contrafortes (já na Depressão Central), a Formação Caturrita, caracterizadas por rochas de constituição arenítica (esta última mais resistente), onde ocorrem principalmente Alissolos. Por vezes, a Formação Botucatu pode ocorrer entreposta (*'intertrapes'*) às camadas do derrame basáltico que dá origem à Formação Serra Geral. Periféricamente à Formação Caturrita,

estende-se uma planície aluvial, que recebe o nome de Formação Santa Maria (dividida em membro Alemoa e Passo das Tropas, respectivamente), esta formação dá origem aos Planossolos, por vezes associados à presença de Gleissolos. À margem dos grandes cursos de água da região, existe a presença de Depósitos Fluviais Recentes, que formam Neossolos Flúvicos.

### 3.1.3 – Vegetação original

A vegetação original é predominantemente florestal, classificada como pertencente à região ecológica da ‘Floresta Estacional Decidual’, que, por sua vez, é compartimentada nas formações Aluvial, Submontana e Montana (Teixeira & Couta Neto, 1986; Pastore & Rangel Filho, 1986; Leite, 1994 e 2002).

A Formação Aluvial corresponde às matas ciliares de rios, como Jacuí, Ibicuí, Santa Maria e também Uruguai e respectivos afluentes. A Floresta Submontana recobre a vertente sul da Serra Geral, a oeste do Rio Caí, bem como os terrenos dissecados no vale do Uruguai, a norte do Rio Ijuí, limitada às cotas altimétricas de 400 metros. Em altitude superiores, ocorre a Formação Montana (Marchiori, 2002).

A área de drenagem do arroio Guarda-mor possui suas cabeceiras (nascentes) em cotas que superam o limite de 400 m. Os pequenos cursos de água que aí se formam, em seguida, passam a drenar os contrafortes da vertente sul da Serra Geral, alcançando, então, os vales do Rio Soturno, principal afluente do Rio Jacuí. A área de drenagem do arroio Guarda-mor recebe, assim, influência das três formações da Floresta Estacional Decidual, com destaque às formações Submontana e Aluvial.

Conforme Leite (2002), a floresta decídua apresenta estrutura distinta que pode ser agrupada em 4 estratos, a saber: o primeiro, descontínuo, das árvores altas e emergentes; o segundo, bastante denso, de árvores com altura mais ou menos uniforme; o terceiro, de arvoretas; e, finalmente, o quarto de arbustos.

Na Formação Aluvial, ocorrem pequenas variações estruturais e florísticas em função das condições locais de drenagem. Assim, nas áreas frequentemente inundáveis e de drenagem lenta, o estrato arbóreo é aberto, sendo dominado por

*Erythrina cristagalli* (corticeira-do-banhado), *Salix humboldtiana* (salseiro), *Inga vera* (ingá), *Sebastiania commersoniana* (branquilho), *Syagrus romanzoffiana* (jerivá), *Sapium glandulatum* (toropi) e outras. Nos locais de solos drenados, esporadicamente inundáveis, a cobertura arbórea é densa, sendo formada principalmente pelas espécies: *Luehea divaricata* (açoita-cavalo), *Patagonula americana* (guajuvira), *Parapiptadenia rigida* (angico-vermelho), *Ruprechtia laxiflora* (farinha-seca) e *Cupania vernalis* (camboatá). No estrato das arvoretas dominam os ‘sarandis’ (*Phyllanthus sellowianus*, *Pouteria salicifolia*, *Sebastiania schottiana* e *Terminalia australis*), bem como *Casearia sylvestris* (chá-de-bugre), *Bambusa trinii* (taquaraçu). Neste estrato, de modo semelhante, é importante a presença das ‘caliandras’, *Calliandra brevipes* de forma mais expressiva e, com menor ocorrência, *Calliandra tweedii*. Estruturalmente, a formação florestal Submontana caracteriza-se por apresentar um estrato arbóreo emergente, no qual predominam *Apuleia leiocarpa* (grápia), *Parapiptadenia rigida* (angico-vermelho), *Myrocarpus frondosus* (cabriúva), *Cordia trichotoma* (louro), *Phytolacca dioica* (umbu); com um estrato dominado constituído por: *Patagonula americana* (guajuvira), *Luehea divaricata* (açoita-cavalo), *Nectandra megapotamica* (canela-preta), *Eugenia rostrifolia* (batinga), *Ocotea puberula* (canela-guaicá), e *Pachystroma longifolium* (mata-olho); e um estrato de arvoretas formado por: *Actinostemon concolor* (laranjeira-do-mato), *Sorocea bonplandii* (cincho) e *Trichilia clausenii* (catiguá). Na formação Montana, temos um número menor de espécies, onde destacam-se *Parapiptadenia rigida* (angico-vermelho), *Cedrela fissilis* (cedro), *Cabrlea canjerana* (canjerana), *Myrocarpus frondosus* (cabriúva), *Patagonula americana* (guajuvira), *Luehea divaricata* (açoita-cavalo), entre outras (Teixeira & Couta Neto, 1986; Pastore & Rangel Filho, 1986).

Apesar dos termos ‘estacional’ e ‘decidual’ serem de interpretação inadequada e não deixarem clara suas propriedades terminológicas, como bem demonstra Marchiori (2002), vale lembrar que, de acordo com Leite (2002), referem-se ao aspecto fisionômico deste tipo florestal, que é marcado pela queda da folhagem (mais de 50%) das espécies da cobertura arbórea superior, durante a estação mais fria.

### 3.1.4 – Vegetação atual e usos da terra

A vegetação atual desta região colonial do estado ainda é significativamente composta por florestas (Tabela 3.1 e Figura 3.6).

Tabela 3.1. Características demográficas e cobertura florestal dos municípios que possuem áreas na bacia hidrográfica do arroio Guarda-mor.

Município	Área (km <sup>2</sup> )	Floresta (%)	Propriedades rurais (número)	Propriedades rurais por classe de tamanho (ha)			
				0-25	25-50	50-100	+100
Faxinal do Soturno	166	32	690	50%	38%	11%	< 1%
Ivorá	130	23	481	55%	31%	13%	< 1%
Silveira Martins	122	31	378	71%	21%	5%	3%

Fonte: PRODESUS; Inventário Florestal da Quarta Colônia (1998).

Os dados da Tabela 3.1 evidenciam que a região se caracteriza pela presença de pequenas propriedades rurais (90% delas tem menos de 50 ha). A base da economia local se fundamenta no policultivo e a cobertura florestal é significativa e concentrada nas cabeceiras, encravadas no Rebordo (Figura 3.6).

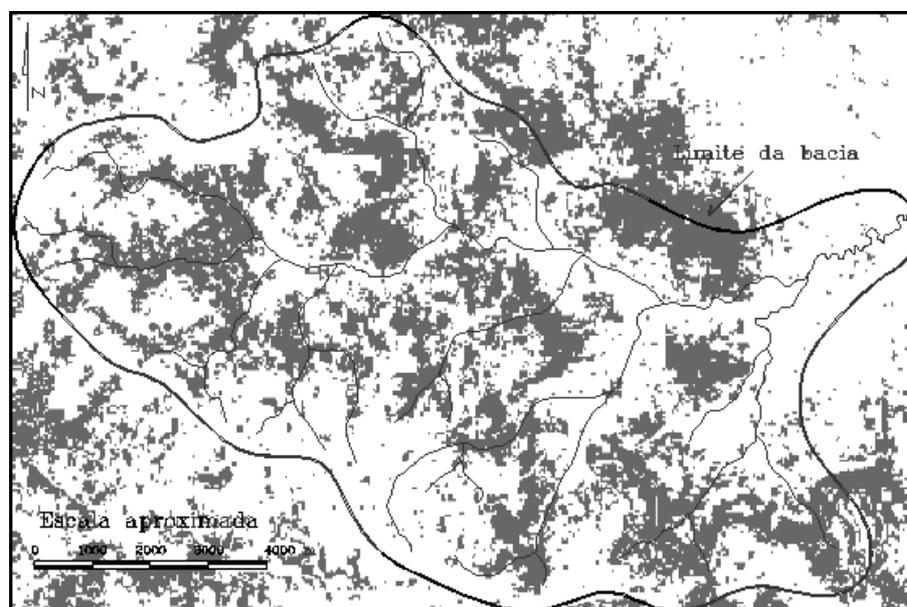


Figura 3.6.

Cobertura florestal da bacia do Guarda-mor (adaptado do Inventário Florestal da Região da Quarta Colônia de Imigração Italiana – PRODESUS, 1998).

Nos fragmentos florestais, principalmente nas áreas de topografia acidentada, pode-se reconhecer a estrutura e composição primitiva (original). Atualmente, entretanto, estas florestas possuem uma riqueza biológica bem menor que a original, principalmente com relação à produção madeireira. Os espécimes de valor e porte comercial são agora raros, e o cuidado e manejo destas florestas e capoeiras emergentes não são praticados. Desta maneira, grande parte das áreas de topografia acidentada é atualmente improdutiva.

A atividade produtiva, normalmente de caráter agrícola, é praticada nas áreas de menores declividades, tanto no Planalto como na Depressão, e nas áreas intermediárias do Rebordo. De maneira geral, no Planalto, a exploração baseia-se tanto na pecuária como na agricultura, tendo, como principais produtos, a batata, a soja, o trigo, o milho e o feijão. Nas áreas intermediárias do Rebordo, o fumo, a fruticultura e a cultura da batata são importantes. As várzeas da Depressão são ocupadas quase que exclusivamente para a produção de arroz.

## **3.2 – O arroio Guarda-mor**

### **3.2.1 – Fisiografia fluvial**

A rede de drenagem do arroio Guarda-mor é do tipo exorréica, com um padrão geométrico tipicamente dendrítico (Figura 3.7), que, de acordo com Cunha (2001), desenvolve-se sobre rochas de resistência uniforme ou em rochas estratificadas horizontalmente, como é o caso da região do Rebordo.

Segundo Sutili (2001), a área da bacia é de aproximadamente 9.300 ha e possui cerca de 120 km de cursos de água permanentes, que drenam a área, ou seja, uma densidade de drenagem de 1,3 km/km<sup>2</sup>, valor considerado baixo pelos limites dados por Sousa (1977).

A Figura 3.7 mostra a hierarquia da rede fluvial e a maneira com que o arroio Guarda-mor, curso de água de 4<sup>a</sup> ordem, se une ao Rio Mello, de 5<sup>a</sup> ordem (conforme Cunha, 2001), para, só então, afluir ao Rio Soturno. Os limites da área de drenagem do arroio estão marcados pela linha pontilhada e uma georeferência em coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) também pode ser vista.

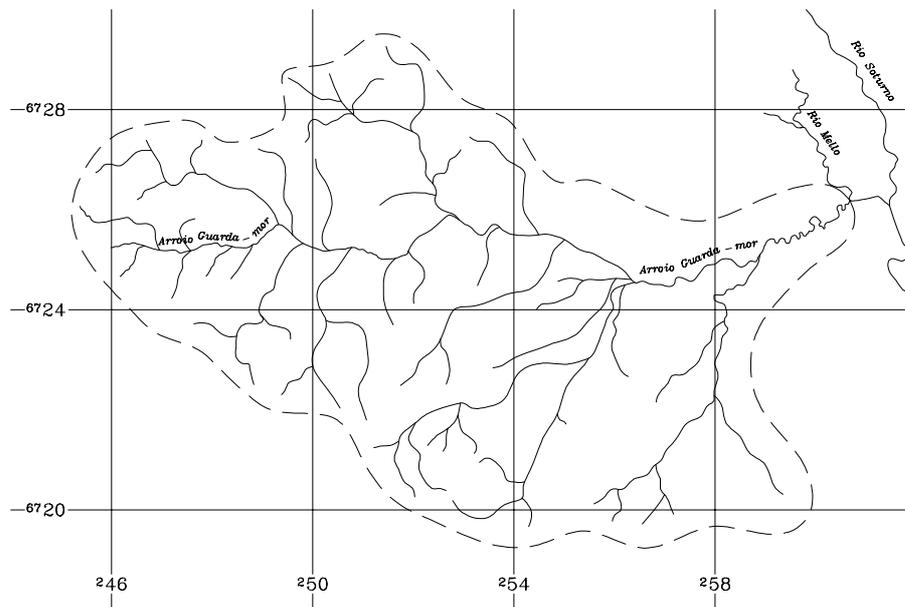


Figura 3.7.

Bacia hidrográfica e rede de drenagem do arroio Guarda-mor.

Com base nos critérios de Christofolletti (1981), vê-se que o arroio Guarda-mor possui canais com um padrão fisionômico predominantemente do tipo retilíneo. O padrão tipicamente meandrante é assumido somente nos seus últimos dois quilômetros. Neste trecho, o valor do índice de sinuosidade chega a 1,78, o que, segundo a classificação proposta por Schumm (1972), considera-se como meandrante regular. Se for observado o arroio Guarda-mor inteiro, de sua foz à nascente, vê-se que ele percorre aproximadamente 18,5 km, e seu vale tem 14,7 km. Isso equivale a um índice de sinuosidade de 1,26, considerado um valor transicional.

Cunha (2001) menciona que os canais meândricos são encontrados, com frequência, nas áreas úmidas cobertas por vegetação ciliar, descrevendo curvas sinuosas, harmoniosas e semelhantes entre si. Além disto possuem um único canal que transborda suas águas na época das cheias e são distintos dos outros padrões pelo valor do índice de sinuosidade igual ou superior a 1,5. Com exceção da vegetação ciliar, que, nos últimos anos, foi quase eliminada nesta área, estas são

as características típicas que o arroio Guarda-mor assume na sua porção final. Isto faz com que o leito, conforme a nomenclatura de Christofolletti (1981) e FISRWG (1998), possua um leito menor e de vazante, utilizado nos períodos de menor precipitação, e um leito maior, que é ocupado nos períodos torrenciais.

### 3.2.2 – Perfil longitudinal

O arroio Guarda-mor tem um perfil longitudinal, de acordo com o mostrado na Figura 3.8. Essa conformação típica é também comum para os demais cursos de água que, como o arroio Guarda-mor, descem os contrafortes da Serra Geral do Rio Grande do Sul (Sutuli, 2001). O autor sugere uma divisão do perfil longitudinal do arroio Guarda-mor em quatro seções (Figura 3.8.), distinguíveis, a princípio, pela declividade.

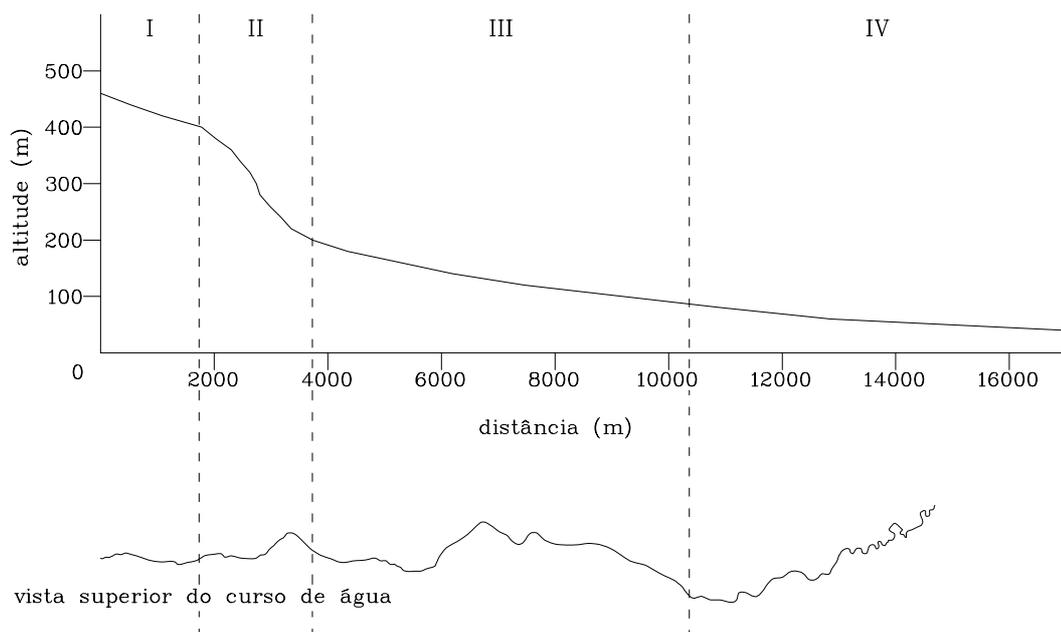


Figura 3.8.

Perfil longitudinal do arroio Guarda-mor (adaptado de Sutuli, 2001).

A seção I, pouco extensa, tem uma declividade relativamente forte (42 %) e corresponde às nascentes do Guarda-mor. A seção II, igualmente de pequena

extensão, é caracterizada por uma declividade muito forte (100 %). Esta seção corresponde à descida, propriamente dita, do Planalto para a Depressão Central. Na seção III, bastante extensa, continua a descida para o vale, porém com declividade bem mais suave (20 %). A seção IV está na parte baixa do curso do Guarda-mor e tem declividade relativamente pequena (6 a 7 %). Tal divisão, feita inicialmente com base apenas na declividade, fica mais evidente quando associada às outras características de cada área: geologia, solo, vegetação e, principalmente, a atividade humana. E assim, também se relaciona com os processos fluviais da rede de drenagem do arroio Guarda-mor.

As características exclusivas do Rebordo do Planalto, dão ao perfil longitudinal do arroio Guarda-mor uma forma bastante particular, que não combina totalmente com a tradicionalmente esperada. Há uma forma convexa na transição entre a seção I (porção pertencente ao Planalto) e a seção II. Só, então, aparece a forma esperada e descrita por Christofolletti (1981), de uma parábola de perfil típico, côncavo para o céu, com declividades maiores em direção à nascente e com valores cada vez mais suaves em direção à jusante.

### 3.2.3 – Processos fluviais

Para explicar os processos fluviais do arroio Guarda-mor, Sutili (2001) sugere tomar a divisão da área de drenagem em seções, baseadas inicialmente na análise do perfil longitudinal do arroio.

Observando-se também os afluentes do arroio Guarda-mor, fica evidente que os padrões de declividade mostrados pelo seu perfil longitudinal, bem como as expressões da topografia, repetem-se nos demais cursos de água da bacia. Com base nestes padrões, é possível dividir toda a bacia em áreas semelhantes. Essa divisão é demonstrada, em planta, na Figura 3.9. Assim, a caracterização é válida não só para cada seção do perfil longitudinal do arroio Guarda-mor, mas também para toda a área da sua bacia hidrográfica.

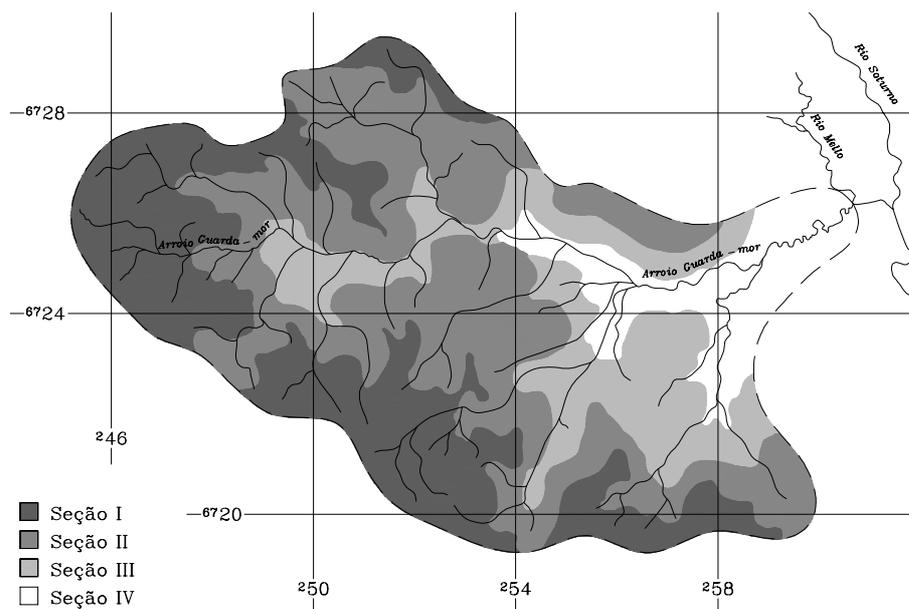


Figura 3.9.

Divisão, em planta, das seções da bacia hidrográfica do arroio Guarda-mor.

### Seção I

Mesmo que o perfil longitudinal do arroio Guarda-mor presente, nesta seção, uma declividade média relativamente forte (42 %), as áreas em torno são formadas por colinas suaves.

A exploração agrícola e pecuária diversificada (pastagens, grãos e floresta) forma um belo mosaico e mantém o solo, normalmente, protegido. Este padrão, somado ao pequeno volume da vazão e à manutenção de uma estreita faixa de vegetação florestal ao longo dos pequenos cursos de água, garante uma atividade processual mínima, não preocupante.

### Seção II

Após percorrer por algum tempo a parte superior da bacia, os cursos de água começam a descer os contrafortes da Serra Geral. Suas águas, devido às altas pendentes (por vezes superiores a 100 %), adquirem grande velocidade e formam cachoeiras, que caracteriza estes cursos de água como torrentes de montanha com capacidade de escavação e de transporte.

No entanto, grandes trechos dos cursos de água encontram-se diretamente esculpido sobre um substrato basáltico ou fluído entre rochas de grandes dimensões e alta velocidade limite de transporte. Este fato faz com que os cursos, embora apresentem grande velocidade, não causem problemas significativos às suas margens e fundo, com exceção para eventos torrenciais catastróficos.

Em praticamente toda a área classificada nesta segunda seção, não ocorre o desenvolvimento de processos de erosão que tenham como agente o homem. Este fato é resultado da geologia, da cobertura vegetal bastante própria e da baixa atividade humana na área. No entanto, é em regiões como esta que os movimentos de massa de causas naturais tem lugar. Após precipitações intensas e/ou cumulativas é comum a ocorrência natural de deslizamentos. Devido à alta velocidade da água, característica desta seção, todo o material escavado do próprio leito e/ou gerado pelos deslizamentos e que, de alguma forma, alcançam o leito dos riachos, é transportado em grande velocidade para a seção seguinte ou para as seguintes, podendo aí se depositar. Isso indica, eventualmente, a conveniência da construção de obras transversais de retenção, já nesta seção.

A cobertura vegetal, na maior parte de caráter permanente, é formada por florestas nativas (compare a Figura 3.9 com a 3.6), entremeada por poucas e pequenas áreas de lavouras (fumo, milho e batata) e poteiros.

### Seção III

Em toda a área da seção III, a cobertura vegetal já não é tão homogênea como a que ocorre na seção anterior. O uso da terra volta a se tornar mais diversificado e intenso. Existem mais áreas agrícolas e de pecuária, muitas delas localizadas inclusive, onde outras formas de uso do solo seriam mais apropriadas.

A vegetação marginal também não tem uma característica tão uniforme como anteriormente. O que ainda ocorre é uma vegetação florestal, nem sempre característica da região (com espécies introduzidas e ruderais) muito variável em sua estrutura, tanto horizontal como vertical. A vegetação ocorre em pequenas manchas, por vezes densas como a encontrada na seção II, por vezes composta por poucos indivíduos e com apenas alguns metros de extensão e largura.

É nesta seção III que, à medida que se acompanha o leito do rio principal no sentido de sua foz, surgem os problemas de erosão, tanto no curso dos riachos maiores com margens íngremes e altas, como também nas pequenas ravinas contribuintes, e ao longo das estradas. Os problemas são mais freqüentes e de maiores dimensões em áreas de cultivo agrícola e/ou atividade pecuária.

Os cursos de água que conseguiram volume e força descendo os contrafortes da Serra Geral, encontram agora um leito formado por material facilmente erodível (e transportável). Muitos trechos das margens e da área da bacia não possuem cobertura vegetal alguma. A vegetação, quando existente, não possui a densidade, a distribuição ou as características biotécnicas adequadas e suficientes para perenizar o trajeto descrito pelos cursos de água.

O material erodido em diferentes pontos da bacia e nas próprias margens dos afluentes, cedo ou tarde, alcança o leito do arroio Guarda-mor. Os materiais mais finos, como argila e areia, dificilmente causam assoreamentos na seção III, pois a velocidade da água, ainda muito alta e superior à velocidade limite de transporte para estes materiais, faz com que possam ser levados mais à frente. Entretanto, já é possível observar a deposição de entulhos sobrenadantes como troncos e galhos, que se emaranham na vegetação marginal ou de ilhotas, além de grandes pedras e seixos, materiais mais pesados e que, nesta terceira seção, têm sua velocidade limite de transporte alcançada. Ao se depositar nas ravinas menores, o material impede, de forma bastante eficaz, a passagem da água e torna possível o acúmulo de mais material, até mesmo os de menor velocidade limite de transporte, que normalmente não seriam depositados nestes pontos. No Guarda-mor e nos seus contribuintes maiores, é freqüente a formação de ilhas efêmeras. Muitas vezes, quando isto acontece, as pequenas ravinas forçam passagem por outros pontos, aumentando a ocorrência de erosão marginal e carreando ainda mais material.

Muitas ilhas da seção III, por possuírem uma grande quantidade de material pesado, o qual não pode ser removido com um comportamento torrencial normal, possibilitam o desenvolvimento de vegetação, que as consolidam. Verifica-se a ocorrência de um grande número de espécies de gramíneas que conseguem se

desenvolver e até mesmo de espécies arbustivas e arbóreas, como amarilhos (*Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana* e *Terminalia australis*) e o salso (*Salyx humboldtiana*). A evidência dessas espécies que se desenvolvem em locais de condição extrema, como entre troncos e pedras, reforça a hipótese de que são plantas com características biotécnicas próprias para os tratamentos vegetativos necessários em alguns locais. É só nesta seção que estas espécies passam a ocorrer com maior frequência, além destas, *Calliandra brevipes* ocorre, nitidamente, com maior frequência na transição entre a seção II e III e diminui a sua frequência na direção de jusante.

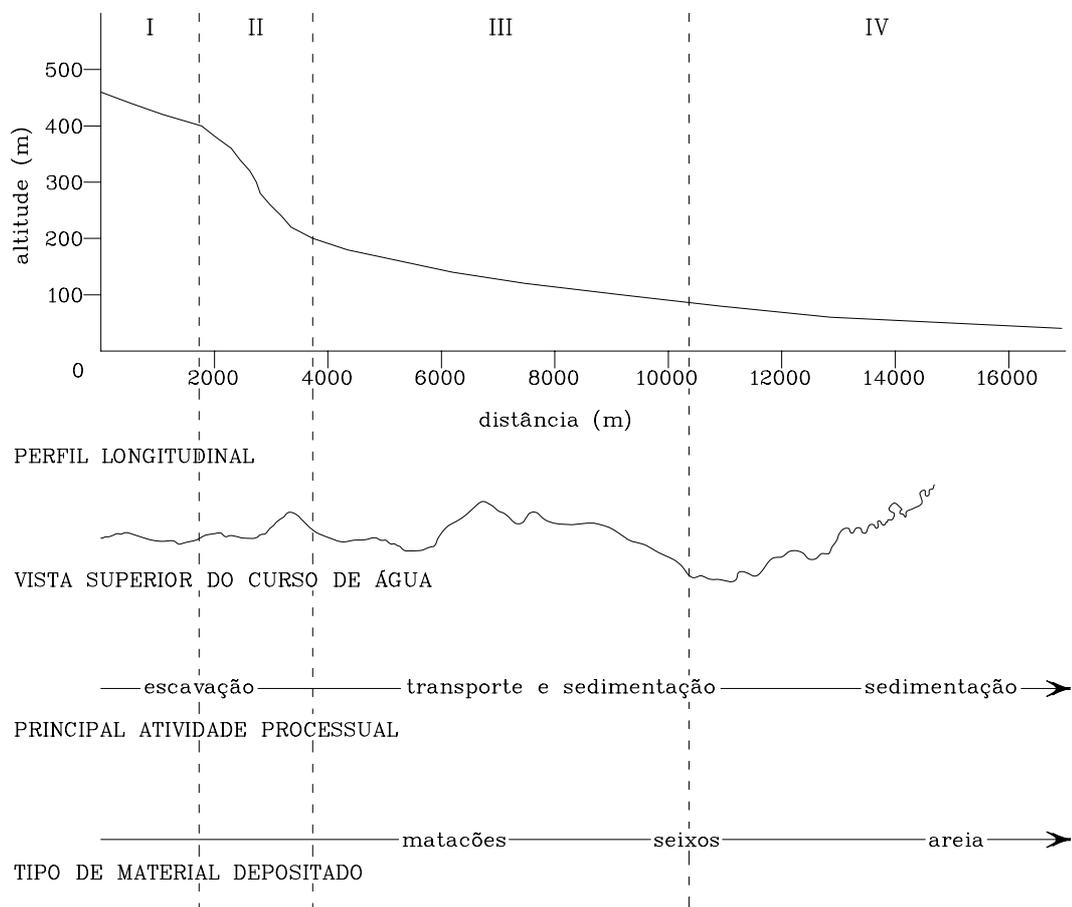


Figura 3.10.

Locais de ocorrência de depósitos (ilhas)  
ao longo do perfil longitudinal do arroio Guarda-mor (Suttili, 2001).

Ao se observar as posições e o tipo de material que se deposita ao longo do perfil longitudinal dos cursos de água, nota-se, claramente, como este fenômeno obedece à velocidade limite de transporte. Primeiro, depositam-se os materiais mais pesados, que formam as ilhas vegetadas características da seção III da bacia e, em seguida, os materiais menores, formando também ilhas instáveis de seixos. Somente depois, na seção IV, depositam-se os materiais mais leves, ainda mais instáveis, formando ilhas de areia e outras partículas finas (Figura 3.10).

As ilhas da seção III, ainda mais consolidadas pelo desenvolvimento da vegetação, acabam por modificar o comportamento normal do leito, muitas vezes direcionando a força da água contra as suas próprias margens. Mesmo que a vegetação nestes locais seja adequada, a força com que a água passa a atingir as margens torna a corrosão inevitável.

#### Seção IV

Numa quarta etapa, os cursos de água da bacia do Guarda-mor passam a descrever meandros por um vale composto por material aluvial facilmente erodível. Nesta última seção, as declividades são mínimas, o que é muito próprio para a orizicultura, intensamente praticada. Os cursos de água assumem um típico comportamento torrencial de planície.

O que distingue esta seção da anterior é, à primeira vista, o curso meândrico que o arroio Guarda-mor passa a descrever e, com esse comportamento, torna possível a sedimentação do material de menor granulometria.

Na seção IV, quase já não se encontram formações florestais densas e, à margem dos cursos de água, onde as lavouras e poteiros não chegam até as barrancas, são encontradas apenas capoeiras com grau de fechamento e estrutura variável, por vezes substituída pela ocorrência de taquarais implantados (*Bambusa tuldoides* Munro). No entanto, a presença de espécies réofilas como *Phyllanthus sellowianus* e *Sebastiania schottiana* se torna mais marcante sobre os típicos e frequentes bancos de areia. Já, *Calliandra brevipes* deixa de ocorrer.

Considerando que os materiais mais pesados, arrastados pela força das torrentes, encontraram sua velocidade limite de transporte na seção anterior,

agora, nesta região de baixa declividade, é que a areia e outras partículas finas em suspensão conseguem se depositar. Ao depositar o material que é trazido das outras seções da bacia, o Guarda-mor e seus afluentes que percorrem a região, adquirem novamente capacidade de erosão e transporte de material. Isto resulta na escavação de material do raio externo de suas curvas e na deposição do mesmo no raio interno das curvas seguintes, obedecendo o padrão de comportamento típico de uma torrente de planície.

As gramíneas e capoeiras, quando existentes, não possuem as características biotécnicas necessárias para garantir a proteção das margens. Isso faz com que estejam neste trecho sinuoso do arroio Guarda-mor a maioria dos problemas resultantes dos processos fluviais de escavação, transporte e sedimentação. Tais processos, que já vinham ocorrendo na seção III, intensificam-se e passam a representar também problemas econômicos, conforme o relato dos proprietários de áreas marginais.

Com as dinâmicas de corrosão no raio externo e de deposição no raio interno, ocorre a perda de áreas agricultáveis tanto nos pontos de corrosão, como onde o material é depositado. Com esse intenso transporte de material, o arroio redesenha constantemente o seu curso, trazendo problemas com a divisa das áreas que o têm como limite de propriedade. Deste fato também advém o interesse dos proprietários por uma solução.

A dinâmica fluvial é tão intensa, que causou mudanças significativas na rede de drenagem do arroio Guarda-mor.

Ao comparar a rede de drenagem, em especial a região de meandros, mostrada nas Cartas do Exército (Brasil, 1974), com uma representação produzida pelo autor a partir de aerofotogramas de Brasil (1996), revelam-se modificações significativas relacionadas aos processos fluviais (Figura 3.11).

Fica evidente que esta porção final do arroio Guarda-mor foi redesenhada nos últimos 20 anos. Algumas curvas foram intensificadas e outras suprimidas. As diferenças tanto podem ter causas naturais, como antrópicas, em menor ou maior grau. A influência das atividades humanas praticadas na área pode ser indireta, ou totalmente proposital como a recanalização de um pequeno curso de água (Figura

3.11) que, em 1976, afluía a cerca de 1200 metros da foz do arroio Guarda-mor e que agora foi unido a um pequeno veio de água intermitente, passando a afluir diretamente ao Rio Soturno. O pequeno curso, antes sinuoso até o arroio Guarda-mor, ganhou mais 1 km para chegar até o Rio Soturno, com traçado refeito de forma quase retilínea. Com isso, esta pequena torrente pode adquirir maior velocidade de escoamento, não encontrando no solo arenoso e na frágil proteção dada pelas taquaras (*Bambusa tuldoides*), empecilho para que cavasse um profundo canal. Com uma profundidade desproporcional à sua largura e volume de água, as margens tornam-se ainda mais suscetíveis à corrosão e ao desbarrancamento.

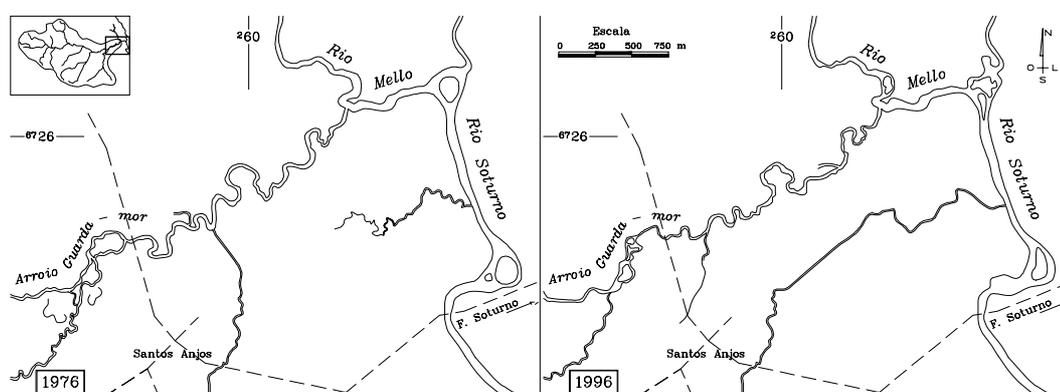


Figura 3.11.

Mudanças ocorridas no canal do arroio Guarda-mor no período de 20 anos, entre 1976 (direita) e 1996 (esquerda).

A revegetação das margens feita com taquaras de grande porte aéreo é comum nas tentativas de perenização de canais, normalmente empregadas pelos agricultores desta região.

A utilização de taquaras de grande porte cumpre apenas em parte seu propósito, estabilizando momentaneamente os leitos dos cursos de água. Com o passar do tempo, porém, as touceiras desenvolvem uma característica estética não muito interessante e uma exagerada altura e volume aéreo em comparação ao seu pouco profundo e, assim, frágil sistema radicial. O resultado é o alavancamento de vários pontos que, além de facilitarem a erosão das margens, entulham os cursos

de água ao tombarem para seu interior. O entulho direciona a força da água contra as margens, o que normalmente resulta em novos pontos de desconfinamento e deslizamento.

Plantios com taquaras de menor porte (*Phyllostachys aurea* A. & C. Riv.) também podem ser vistos, como tentativa de perenização. Apesar de ser eficaz na contenção dos barrancos, não ser suscetível ao tombamento e se multiplicar facilmente por divisão de touceira, esta espécie apresenta algumas características não desejáveis. Quando os rizomas ultrapassam os limites da área em que foi plantada, mostram-se inconvenientes, invadindo áreas de agricultura nas quais seu controle torna-se difícil. O uso de dessecantes é pouco eficiente, e o controle só é atingido com aração e recolhimento dos rizomas.

O uso de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) também não trouxe os melhores resultados, principalmente pela falta de manutenção e acompanhamento.

As ações praticadas na seção IV que, por vezes, objetiva a perenização do curso e, em outros momentos, sua mudança completa, advêm de interesses como:

1. Controle sobre os processos fluviais, que tornam improdutivas tanto as áreas de agradação, como as de degradação.
2. Consolidação das divisas, que são marcadas pelos próprios cursos de água.
3. Preocupação com a manutenção das reservas de água, aqui, especialmente importante para orizicultura.
4. Redistribuição da água para o uso nas lavouras de arroz.

Os problemas vistos nos cursos de água da bacia do Guarda-mor, principalmente nas seções III e IV, e as tentativas, por parte dos agricultores, de solucioná-los, deixam claro a importância da busca de mais informações e da experimentação de métodos para a estabilização dos taludes fluviais.

Dadas as incertezas quanto às verdadeiras propriedades biotécnicas da vegetação, foi desenvolvido um experimento padrão com o objetivo de verificar, comparativamente, o potencial biotécnico de algumas espécies de ocorrência local, aparentemente promissoras. Foi escolhida uma área próxima às margens do arroio Guarda-mor, localizada na propriedade do Sr. Gilberto Cordeiro (Figura 4.1, letra A) para que se aproveitassem as características particulares do solo e do ambiente nos quais as plantas terão que se desenvolver, quando utilizadas para solucionar os problemas de instabilidade dos taludes fluviais do arroio.

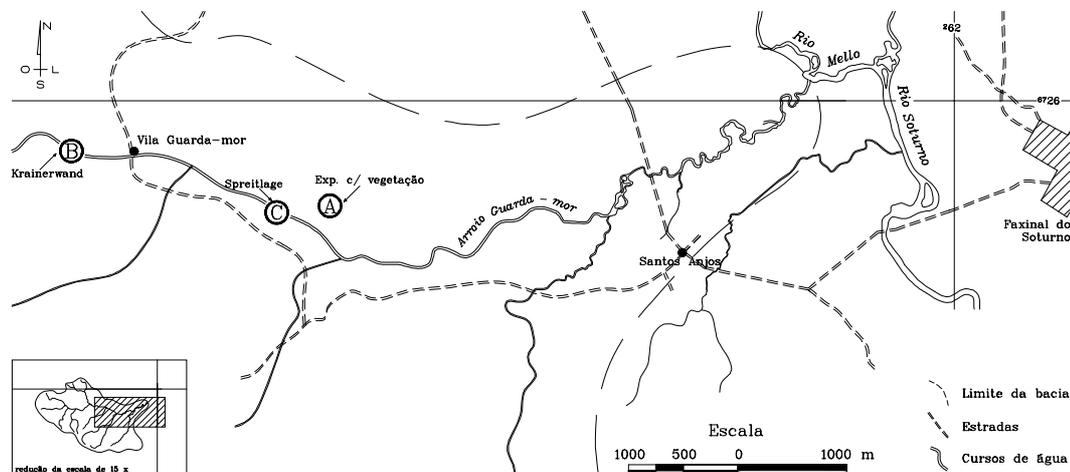


Figura 4.1.

Mapa mostrando a localização dos experimentos.

Em um sentido ainda mais prático e com base nos preceitos da bioengenharia e nas características do arroio Guarda-mor, anteriormente descritas, foram tentados experimentalmente dois métodos concretos e objetivos para a

estabilização de taludes fluviais: uma parede vegetada de madeira (Krainierwand) e uma esteira viva (Spreitlage). Para isso, foram selecionados trechos nos quais os problemas eram evidentes e característicos e as intervenções, além de se justificarem econômica e tecnicamente, pudessem ser executadas (construídas) com material local e anuência dos proprietários.

Estas obras possuem caráter experimental e de demonstração e consistem em uma ação localizada que tem em vista recuperar trechos sem a pretensão de ser solução definitiva, neste caso, para os problemas do arroio Guarda-mor. Por isso, o objetivo é, com base nas características locais, tentar implantar e verificar a exequibilidade de técnicas já descritas na literatura, contando-se com o material vegetal e construtivo que pode ser encontrado no local, bem como constatar os custos para a implementação e verificar a eficiência na solução dos problemas.

A parede vegetada de madeira foi construída na propriedade do Sr. Reinaldo Binotto, e a esteira viva, na propriedade do Sr. Gilberto Cordeiro. A localização precisa de ambas pode ser visualizada na Figura 4.1 pelas letras B e C, respectivamente.

Imagens das espécie estudadas, do experimento e da construção das obras de estabilização podem ser vistas no Anexo Fotográfico, ao final do trabalho.

#### **4.1 – Canteiro experimental**

O estudo das características biotécnicas da vegetação está sendo feito em colaboração entre o Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS – Brasil, e o ‘Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau’, da ‘Universität für Bodenkultur (BOKU)’, de Viena – Áustria. Essa pesquisa tem como objetivo verificar quais espécies possuem as características necessárias para serem consideradas como possíveis ferramentas biotécnicas na estabilização de taludes fluviais.

A seguir, será descrita a metodologia usada neste tipo de investigação e, de forma preliminar, apresentados alguns resultados.

Pretende-se, com o tempo, testar um maior número de espécies, aparentemente potenciais, em diferentes épocas do ano.

Neste primeiro experimento estão sendo estudadas *Calliandra brevipes*, *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana* e *Salix humboldtiana*, por reprodução vegetativa; e *Calliandra tweedii* e *Salix humboldtiana*, por reprodução germinativa (por mudas).

#### 4.1.1 – Materiais e métodos

##### 4.1.1.1 – Instalação do experimento

Com a ajuda de uma retro-escavadeira foi produzido um canteiro, em forma de camalhão (2 m de altura e 27 de comprimento), orientado, aproximadamente, no sentido norte – sul, para que suas faces de plantio recebessem exposição leste e oeste. Em cada lado foram estabelecidas duas linhas de plantio.

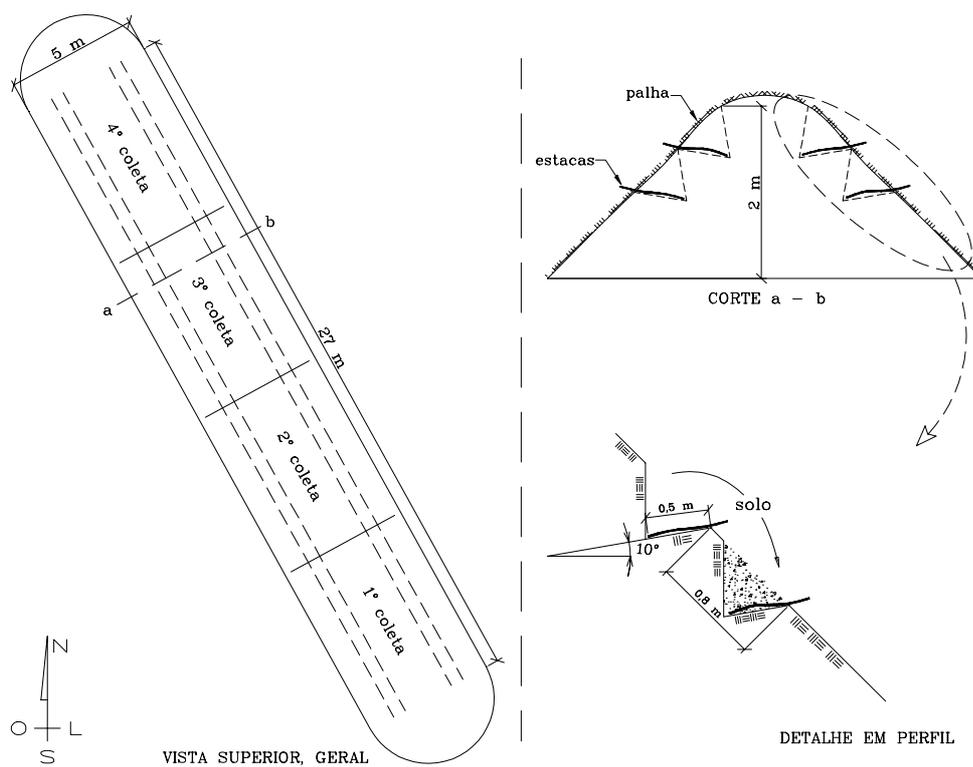


Figura 4.2.

Canteiro experimental.

O canteiro experimental foi cercado para evitar a entrada de animais e, após o plantio, completamente coberto por palha de arroz a fim de proteger, manter a umidade e, principalmente, diminuir o desenvolvimento de plantas indesejadas.

Após a construção do canteiro e o plantio das estacas e mudas, o único trato executado foi o combate à formiga, utilizando-se inseticida (piretróide), em forma de pó seco, que foi aplicado com bomba manual.

#### 4.1.1.2 – Obtenção do material vegetal

As estacas de *Calliandra brevipes*, *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana* e *Salix humboldtiana* foram coletadas de várias plantas, nas proximidades. As mudas de *Calliandra tweedii* e *Salix humboldtiana* foram providenciadas pela Secretaria da Agricultura de Faxinal do Soturno.

As estacas foram produzidas com  $\pm$  40 cm de comprimento e diâmetros variando de 1 a 6 cm. As mudas contavam com um tamanho de 40 cm de comprimento, em média.

#### 4.1.1.3 – Delineamento estatístico e variáveis observadas

O canteiro foi dividido em 4 partes. Cada uma dessas partes recebeu 24 plantas de cada espécie (mudas e/ou estacas), totalizando 96 plantas em cada divisão e 576 plantas no experimento completo. Com o objetivo de englobar e verificar possíveis variações, as plantas foram distribuídas na exposição leste e oeste e na primeira e segunda linha de plantio (Figura 4.2).

Antes do plantio, foram anotados o comprimento das mudas e das estacas e o diâmetro das extremidades e do centro de cada estaca. A cada coleta de dados, foram mensuradas as seguintes variáveis:

- comprimento enterrado da estaca;
- quantidade de brotos;
- comprimento dos brotos;
- quantidade de brotos secundários;
- número de raízes adventícias;
- comprimento das raízes;
- diâmetro médio das raízes.

Dois meses após o plantio, fez-se a primeira coleta de dados, e, na seqüência, três novas coletas, uma a cada mês. No momento de cada coleta, eram consideradas e anotadas a posição e exposição das plantas de cada espécie.

A fim de que as plantas pudessem ser retiradas com o seu sistema radicial intacto, para que fossem contadas e medidas as raízes, estas eram desenterradas cuidadosamente com a ajuda de água corrente, sob leve pressão.

#### 4.1.2 – Resultados e discussão

Os resultados completos serão, ainda, publicados como monografia de final de curso dos acadêmicos Werner ALTREITER e Kathrin PLUNGER, apresentada à Universidade Rural de Viena (Universität für Bodenkultur).

Como forma de atender à necessidade de que este trabalho esteja, também, disponível em língua portuguesa, são apresentados aqui, preliminarmente, alguns dos resultados mais significativos.

Como o experimento foi conduzido durante os meses de inverno, a primeira expectativa era quanto à capacidade de qualquer desenvolvimento da vegetação fora do período vegetativo tido como ideal. Surpreendentemente, *Sebastiania schottiana* apresentou 80% de pega e as outras espécies mais de 90%.

As plantas conseguidas a partir de mudas tiveram uma maior mortalidade e mostraram um desenvolvimento muito inferior às que resultaram de reprodução vegetativa. Por isso, e devido a sua menor importância nas biotécnicas e ao caráter preliminar dos resultados, estas foram desconsideradas nesta apresentação.

Além do percentual de pega, outras características mais informativas quanto a aptidão biotécnica da espécie, podem ser observadas. Na Figura 4.3, aparece graficamente o número médio de brotos por planta em cada uma das coletas, para cada uma das espécies reproduzidas vegetativamente. Tentou-se sempre a aproximação das médias por uma regressão linear simples, sem intercepto ( $y = b_1 \cdot x$ ), ou seja, uma reta a partir da origem. Mesmo não sendo, do ponto de vista estatístico, esta a melhor função em alguns casos, a simplificação geral é lógica e mostrou sempre um ajuste suficiente, evidenciado pelo coeficiente de correlação.

Enquanto *Calliandra brevipes* conta com uma média de 8 brotos por planta após 5 meses, *Phyllanthus sellowianus* não possui mais que três, na média. Mas, se considerarmos a variável comprimento dos brotos, vê-se que a tendência se inverte (Figura 4.4), ou seja *Phyllanthus sellowianus* conta com os brotos mais longos, embora em menor número. Se forem consideradas conjuntamente as duas características, número e comprimento, é *Salix humboldtiana* que possui a combinação que resulta em maior volume.

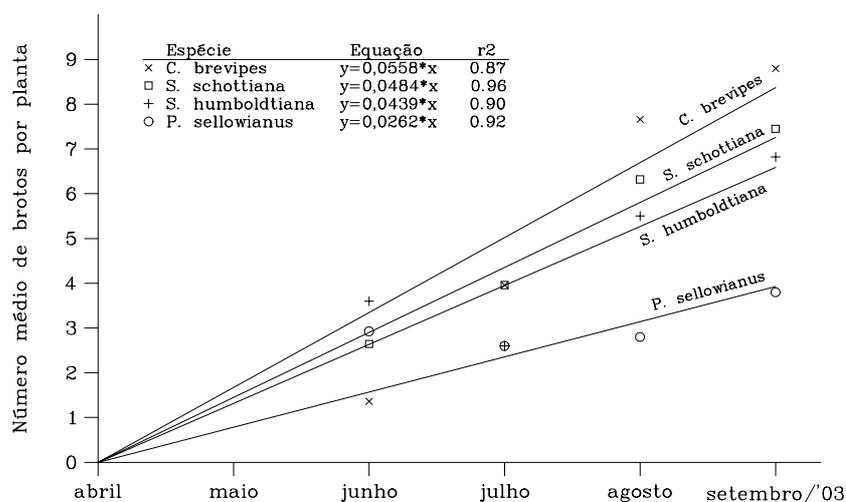


Figura 4.3.

Número médio de brotos por planta.

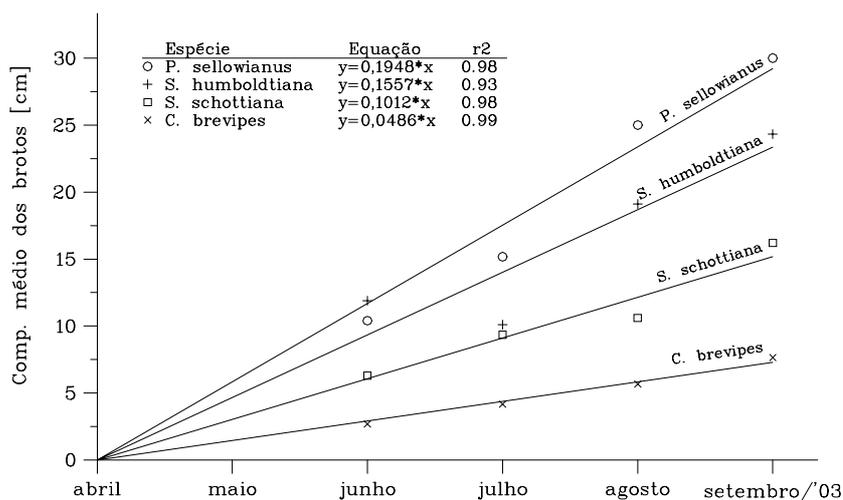


Figura 4.4.

Comprimento médio dos brotos.

Quando o objetivo for simplesmente reter o solo erodido superficialmente em uma encosta, as linhas de plantio devem contar com um grande número de brotos. Já as espécies com ramos mais vigorosos são apropriadas para locais em que se deseja conter materiais de maior diâmetro (cascalho, pedras, entulho, etc.).

Mesmo que o desenvolvimento da massa aérea seja importante como forma de proteger e de estabilizar fisicamente os taludes fluviais, a principal característica a ser observada é a produção de raízes. Assim, na Figura 4.5 é apresentado o número médio de raízes por metro de estaca enterrada. *Calliandra brevipes*, após 5 meses, não chegou a apresentar, na média, mais de duas raízes por metro de estaca enterrada. Portanto, foi desconsiderada no gráfico.

*Phyllanthus sellowianus*, após dois meses, já contava, na média, com mais de 70 raízes por metro de estaca. No último mês, essa média ultrapassou 100 raízes por metro. A segunda espécie em número de raízes (*Salix humboldtiana*) não contava com mais de 28 raízes por metro de estaca após o segundo mês e somente alcançou mais de 70 ao final, após 5 meses. *Sebastiania schottiana*, com o menor número de raízes, produziu pouco mais de 40 raízes por metro de estaca.

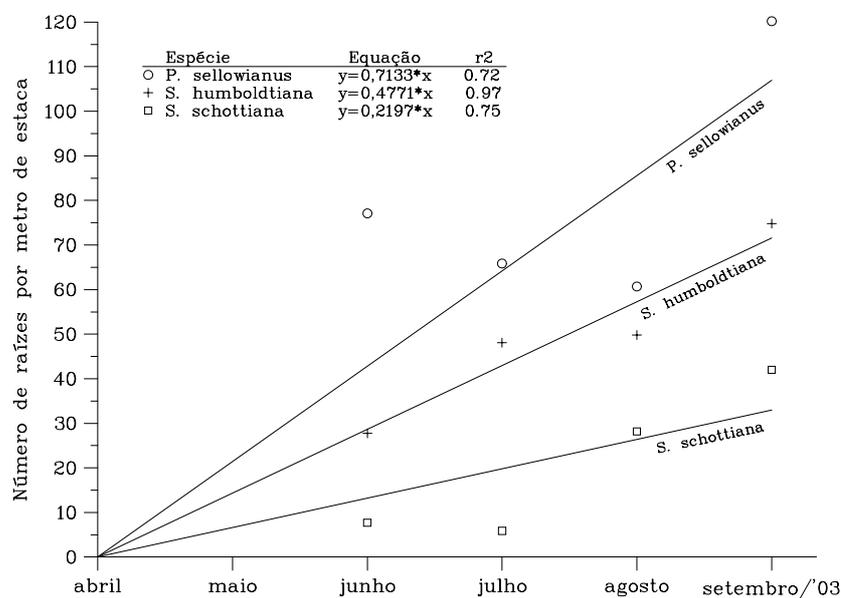


Figura 4.5.

Número médio de raízes por metro de estaca enterrada.

Além do número médio de raízes, é importante o comprimento médio que elas podem alcançar. Na Figura 4.6, é apresentada esta variável.

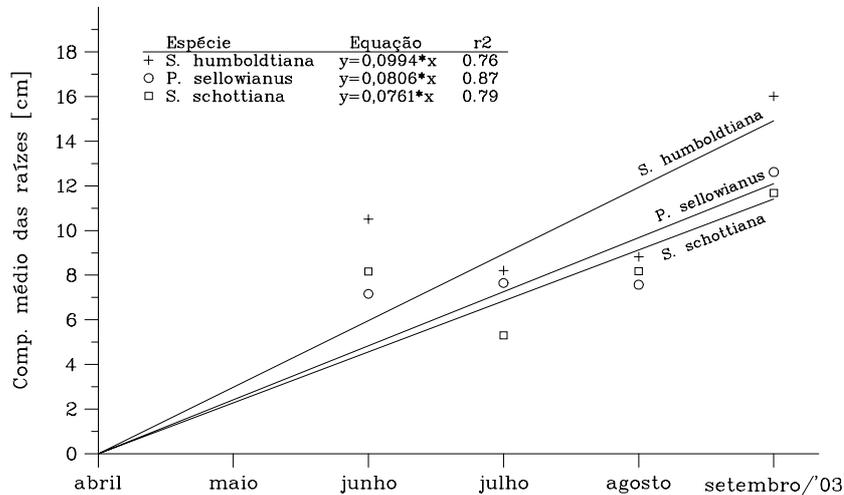


Figura 4.6.

Comprimento médio das raízes.

*Salix humboldtiana* possui as raízes mais longas, chegando a uma média de 16 cm após 5 meses. No entanto, como o desvio padrão para esta variável é, logicamente, muito alto, não foi raro ocorrerem raízes com mais de 1 metro. Já *Sebastiania schottiana*, mesmo tendo o menor número de raízes por metro de estaca, possui raízes tão longas quanto às de *Phyllanthus sellowianus*.

#### 4.1.3 – Conclusões

Presumivelmente, os tratamentos vegetativos devem ser executados na saída do inverno / início da primavera quando o material possui o maior potencial de pega e desenvolvimento. Mesmo assim, verificou-se que esse potencial, durante o outono e inverno, é suficiente para viabilizar as obras de engenharia biotécnica. Ao final do inverno, quando se presume ocorrer a melhor época para os tratamentos vegetativos, os cursos de água costumam estar com seu nível máximo, dificultando ou até impedindo as intervenções físicas, necessárias em muitos casos. Daí a importância em se constatar a possibilidade de desenvolvimento de algumas espécies em diferentes épocas do ano.

*Calliandra brevipes*, apesar de apresentar um elevado poder de pega (90%) e desenvolver brotos, não foi capaz de produzir quantidade apreciável de raízes durante o período de abril a setembro de 2003 (em média, 2 raízes por metro de estaca enterrada). Isso a descaracteriza como espécie útil para os tratamentos implantados vegetativamente, na época em questão.

As outras três espécies – *Sebastiania schottiana*, *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* –, além do elevado percentual de pega (80% para a primeira e mais de 90% para as duas últimas), foram capazes de providenciar brotos e enraizar suficientemente no mesmo período (abril a setembro), como demonstraram os números apresentados. Na natureza, qualquer delas parece suportar condições extremas, como a submersão em água por períodos relativamente longos, o aterramento (no caso de deposição de material) e a exposição parcial de suas raízes, no caso de erosão. Seu fácil, denso e profundo enraizamento (como constatado), sua resistência à submersão e ao arrancamento pela força das águas e, especialmente, sua visível flexibilidade – no caso de *Phyllanthus sellowianus* e *Sebastiania schottiana* –, distinguem estas espécies como capazes de produzir os efeitos desejados no controle de processos erosivos.

*Phyllanthus sellowianus* se reproduz vegetativamente muito bem, o que é mostrado pela sua capacidade de pega e, principalmente, por providenciar um grande número de raízes logo após o plantio (2 meses), revelando um enraizamento denso. Essa característica e, em especial, a rapidez com que um grande número de raízes é produzido, fazem da espécie uma das mais promissoras (entre as testadas) para a bioengenharia.

A produção, após 5 meses, de mais de 70 raízes por metro de estaca enterrada e, especialmente, o maior comprimento das raízes (18 cm em média, mas, tendo normalmente raízes com mais de 1,5 metros) também fazem de *Salix humboldtiana* uma importante alternativa. Entretanto, o fato de ser uma árvore e não um arbusto limita o seu uso, exigindo formas particulares de plantio e tratamentos culturais. Por outro lado, os salseiros podem ser conduzidos para formar bons troncos – desde que plantados no leito de ocupação sazonal (maior e maior excepcional) e a uma distância da margem, que não provoque o alavancamento

dos diques marginais. Sua exploração é viável, sem causar prejuízo à função de proteção, desde que os cortes sejam de árvores singulares ou feitos em faixas, sem a necessidade de reposição após cada corte, em razão do intenso rebrote.

*Salix humboldtiana* juntamente com *Sebastiania schottiana* possuem uma característica que as distinguem favoravelmente em relação a *Phyllanthus sellowianus*. Esta última tem a clara tendência de providenciar a maioria de suas raízes na base da estaca, enquanto as outras distribuem-nas igualmente em toda a extensão enterrada da estaca. Essa característica é conveniente para revegetação de taludes fluviais, pois, garante que a estaca tenha mais estabilidade e seja mais dificilmente arrancada pela força das águas. E mesmo, alguns métodos de plantio, como a esteira viva e o uso de feixes vivos, exigem que a espécie utilizada possua a característica de lançar raízes igualmente em toda a extensão do ramo.

Mesmo apresentando o menor número de raízes, *Sebastiania schottiana* é promissora e importante, devido principalmente a sua maior abundância na região. Por vezes, o trabalho fica limitado pela disponibilidade local de material (tanto construtivo como vegetal). Assim, a opção por uma espécie de menor aptidão, porém de obtenção mais fácil, não significa necessariamente perda de eficiência e pode resultar em ganhos práticos de economia e exeqüibilidade na obra.

Além destas, outras espécies parecem promissoras e merecem ser melhor observadas. Por exemplo, *Terminalia australis* e *Pouteria salicifolia*, que podem ser vistas no arroio Guarda-mor e principalmente no Rio Soturno do qual o primeiro é afluente. Espécies exóticas como *Salix viminalis* L. (vime), *Morus nigra* L. e *Morus alba* L. (amoreiras), desenvolvem-se muito bem na região. As amoreiras ocorrem, espontaneamente, à margem dos arroios. O vime já é reconhecido na literatura como uma das principais ferramentas da engenharia biotécnica, inclusive produzindo hastes que podem ser utilizadas para diversos fins, igualmente, sem nenhum prejuízo para a função de proteção. Também é importante o estudo de espécies gramíneas e herbáceas. Uma planta herbácea de grande ocorrência local e, aparentemente, promissora é o cardamomo ou gengibre-branco (*Hedychium coronarium* J. König), igualmente exótica, mas já asselvajada.

## 4.2 – Parede vegetada de madeira (Krainierwand)

### 4.2.1 – Apresentação do problema

O ponto escolhido para a construção da parede vegetada de madeira compreende uma porção do curso de água, em um trecho suavemente curvo (Figura 4.7), com seu raio externo formado por um talude instável. O solo, de origem flúvica, forma um barranco estratificado, mas predominantemente franco arenoso, com 4 metros de altura, em média, estendendo-se por 40 metros da margem direita do arroio Guarda-mor (Figura 4.7).

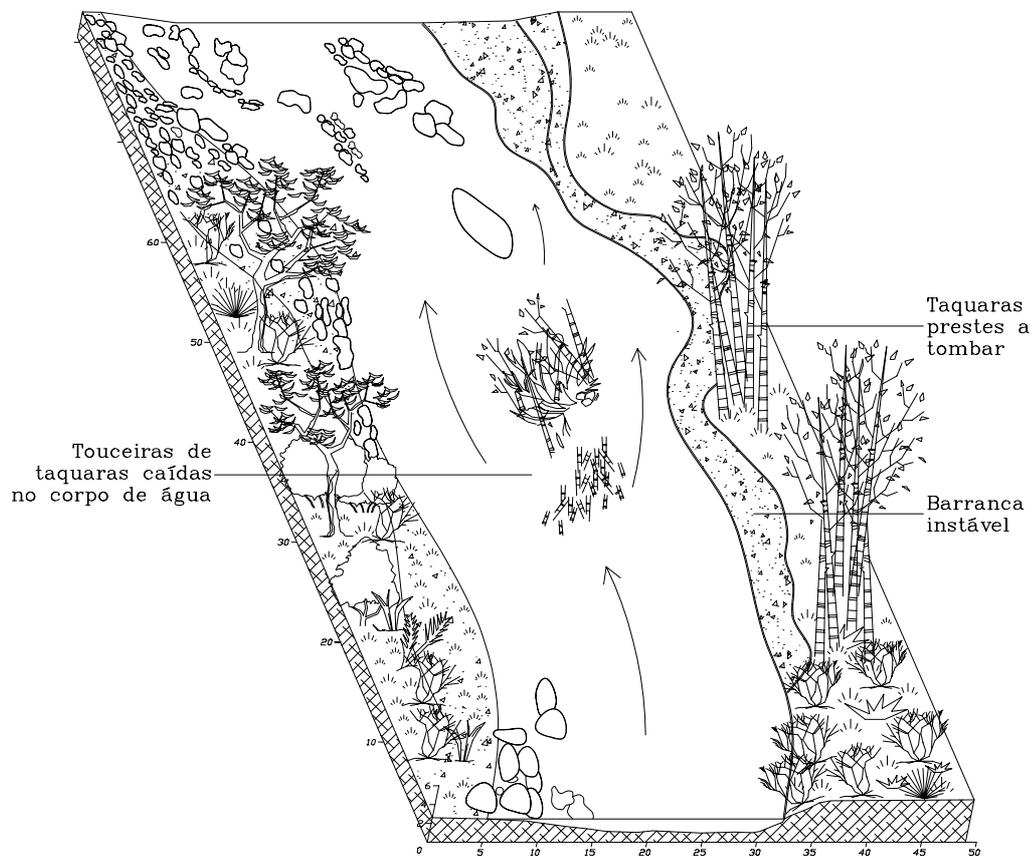


Figura 4.7.

Aspecto do trecho em estudo, antes da estabilização da margem direita.

A evolução para este estado, provavelmente, resulta da ação da água e das touceiras de taquaras (*Bambusa tuldoides*) plantadas sobre o talude. 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 plantas. O talude é claramente mais alto do que a profundidade média das raízes, e a linha de ruptura se forma distante da ação das raízes. Nesta situação, as taquaras só contribuíram para a perda de equilíbrio do talude.

Além disso, com o deslizamento, as touceiras de taquara acabaram por obstruir o curso de água, diminuindo sua velocidade e forçando o depósito de materiais de modo a alterar a geometria do canal. Por este efeito e pelo próprio anteparo físico criado pelas touceiras de taquara, a força da água é direcionada contra a margem externa, criando um processo contínuo de corrosão, deslizamento/desmoroamento e posterior transporte do material. Assim, o barranco, em sua extensão total (Figura 4.7), torna-se instável.

#### 4.2.2 – Proposta geral

O trabalho proposto compreende, necessariamente, dois tipos de ações, complementares e indissociáveis – uma intervenção física, combinada a um tratamento vegetativo –, a fim de produzir na margem direita um efeito similar ao da Figura 4.8.

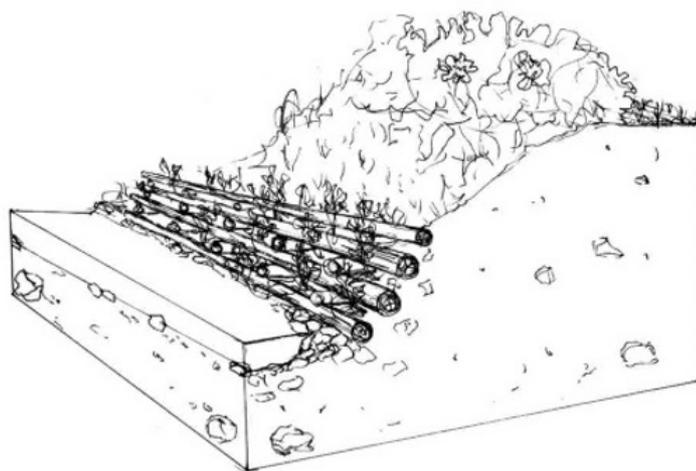


Figura 4.8.

Efeito esperado após o revestimento com madeira e revegetação da margem.

1 – A intervenção física visa produzir as modificações mínimas necessárias no leito do curso de água, readequando sua caixa, margem e barranca, com o objetivo de proporcionar condições mais estáveis e modificar a distribuição da velocidade da água, seguindo as propostas de Animoto (1978), FISRWG (1998) e Sutili *et al.* (2004). A operação consiste na retirada do material sedimentar e das touceiras de taquara que obstruem o centro do canal e na confecção de um gradiente adequado para a margem erodida. Com a retirada do material sedimentado e a reconstrução da margem, a vazão é facilitada e redirecionada a fim de que seja menos agressiva às margens. Esta remodelagem é apoiada pela construção de um anteparo de pedras e madeira junto ao nível normal da água.

A construção de um muro de madeira/pedras junto ao nível normal da água visa ancorar o pé do talude, proporcionando maior estabilidade e proteção, de modo que a mesma possa receber o tratamento vegetativo, conforme aconselha Sutili (2001).

2 – De acordo com os preceitos da bioengenharia, o tratamento vegetativo é feito concomitantemente com os ajustes físicos. Assim, inicialmente, o desenvolvimento da vegetação é apoiado pela proteção física, até o momento em que sua ação protetiva se consolide e seja suficiente para manter a estabilidade do talude, dispensando a ação do primeiro.

#### 4.2.3 – Detalhamento do trabalho

##### 4.2.3.1 – Obtenção dos materiais

Para a construção da parede vegetada de madeira, deu-se prioridade ao uso de troncos de eucaliptos, devido a sua abundância na região (15 cm de diâmetro na ponta fina e em seu máximo comprimento).

Após ser erguida, a estrutura de madeira foi preenchida com material, retirado dos depósitos do raio interno e do centro do canal. já que, na seção III, os depósitos formam um leito de seixos e matacões, inclusive dando origem a pequenas ilhas, cuja supressão por vezes é vantajosa.

Para a revegetação, priorizou-se o uso de estacas de *Calliandra brevipes*, muito comum nas proximidades, e de mudas de *Calliandra tweedii*, providenciadas pela Secretaria da Agricultura do município de Faxinal do Soturno. Utilizou-se também mudas de *Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg. – conhecido na região como capim-encrenca-de-vizinho ou capim-são-paulo. Foram providenciadas estacas de *Terminalia australis*, *Phyllanthus sellowianus*, *Pouteria salicifolia* e *Sebastiania schottiana*. Evitou-se o uso do salseiro (*Salix humboldtiana*), muito abundante e presumivelmente eficiente, por se tratar não de um arbusto mas de uma árvore, que, se não sofrer os necessários cortes e podas, pode se tornar inconveniente à estabilidade deste talude que é alto (três a quatro metros) e não pôde ter sua inclinação reduzida a menos de 45°, devido à proximidade com as quadras de arroz.

#### 4.2.3.2 – Execução do trabalho

O trabalho teve início na segunda metade do mês de janeiro de 2003, período em que as águas do arroio se encontram, normalmente, mais baixas.

Na Tabela 4.1, é apresentada uma lista das ferramentas que foram úteis na execução do trabalho.

Tabela 4.1. Ferramentas utilizadas no trabalho (Parede vegetada de madeira).

Ferramentas / Equipamentos	Quantidade	Ferramentas / Equipamentos	Quantidade
alicate (comum)	1	marreta (6 kg)	1
alicate de alambrador	1	motosserra	1
corda	15 m	pá de corte	1
enxada	1	pá dobrável - pequena	1
enxadão	1	sapel - grande	1
lima de motosserra	1	serrotes de poda	4
luvas de couro	1 par	tesoura de poda - grande	1
machadinha	1	tesoura de poda - pequena	2
marreta (4 kg)	1	trena (20 m)	1

O primeiro passo foi o pilotamento vertical para dar suporte à base da parede de troncos, seguindo-se, presumivelmente, a posição em que a margem se encontrava originalmente, antes da corrosão do trecho agora em tratamento. Para

isso, foram usados pilotos de 8 x 8 cm e com 1,5 m de comprimento (Figura 4.9). O leito, neste trecho, formado por seixos e cascalho, dificultou muito o pilotamento. A fim de facilitar o trabalho, tentou-se formar um caminho inicial com o uso de uma alavanca de 15 kg, com 2 metros de comprimento e uma plegada de diâmetro, a qual não produziu o efeito esperado. O pilotamento foi finalmente conseguido com o uso de uma marreta de ferro com 4 kg.

Após o pilotamento, iniciou-se a colocação da primeira linha de troncos (Figura 4.9). Estes, com um diâmetro médio de 20 cm e um comprimento variando de 5 a 11 metros, foram trazidos até próximo a margem com o uso de uma carreta agrícola e de um trator. Cada tronco era trazido até a margem, usando-se um sapel, e ‘baixado’ até sua posição com a ajuda de uma corda.

O uso de madeira seca facilitou o transporte e o manuseio dos troncos, embora o uso de madeira verde para a confecção da primeira linha, que fica permanentemente submersa, seja mais conveniente por aumentar a durabilidade da obra. Como previsto, a primeira linha se mostrou a mais difícil de ser implantada, devido à falta de experiência e à particularidade de que, para a sua acomodação, a madeira seca deve ser submersa e amarrada aos pilotos embaixo da água. Este passo poderia ser facilitado com o uso de madeira verde. À medida que os troncos foram acomodados, houve a necessidade de ajustá-los às irregularidades do fundo do leito, com o uso de grandes pedras colocadas abaixo e à frente dos mesmos.

As estacas horizontais (Figura 4.9) foram fixadas com o auxílio de marretas de 4 e de 6 kg. O uso de um bate-estaca de madeira poderia ter sido mais conveniente pelo fato de não danificar tanto a ‘cabeça’ das estacas e dos pilotos.

Para firmar as peças entre si e para que a estrutura trabalhasse em conjunto, foram produzidos pequenos encaixes e as peças foram amarradas fortemente com arame de aço galvanizado de 6 mm de diâmetro. O uso de alicates ou torqueses comuns não é eficiente. Conseguiu-se produzir amarras seguras e com maior facilidade, utilizando-se um alicate de alambrador.

As linhas seguintes foram sendo dispostas, conforme a Figura 4.9, até uma altura de aproximadamente 1 metro, com uma pequena inclinação de 1:5 para

proporcionar maior estabilidade à construção. Após a colocação da segunda linha, foi realizado um novo piloteamento vertical, criando assim um pequeno degrau. Seguiu-se com mais duas linhas completas e uma quinta linha que só alcançou a metade da extensão da margem tratada.

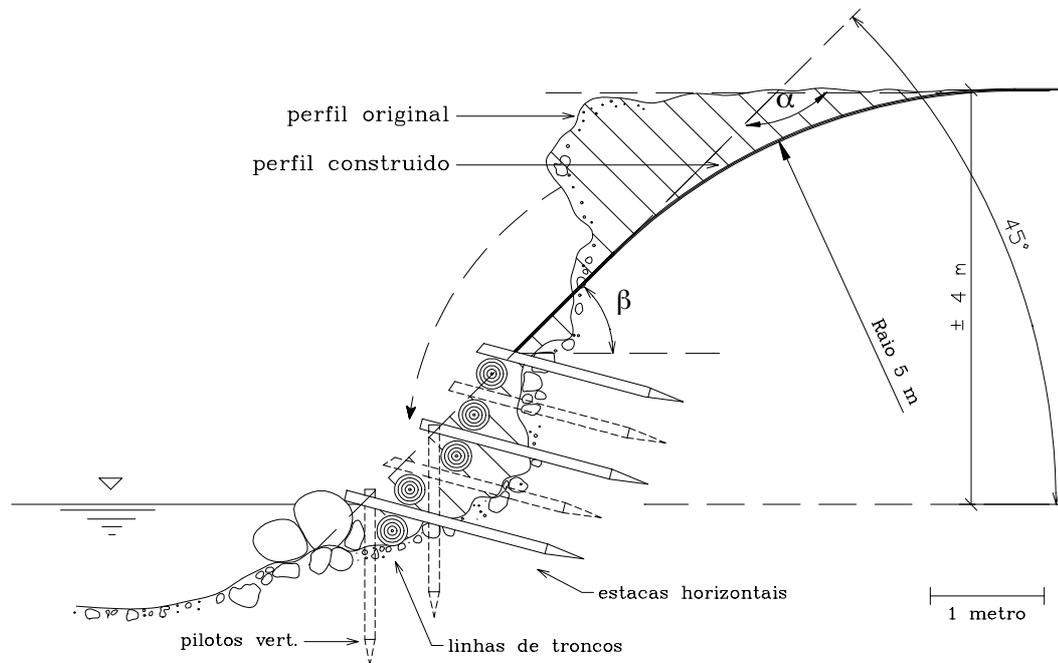


Figura 4.9.

Vista da margem em corte transversal.

No momento da construção, as pedras de maiores dimensões foram colocadas rente à estrutura de madeira para dar mais estabilidade à mesma. Isso foi conseguido arrastando-se manualmente as pedras mais próximas e, depois, com o uso de uma retro-escavadeira. Também com o auxílio da máquina, foram retirados os materiais sedimentados no raio oposto. Este material teve utilidade no preenchimento da estrutura de madeira.

Na porção da margem que ficou acima da parede de troncos (Figura 4.9), foi produzida uma inclinação (chanframento) variando de 50 a 40° (ângulo  $\beta$ ).

Para o coroamento, que corresponde a um arredondamento da parte superior da nova margem, foi adotado um raio superior a 4 metros. Da mesma forma que o chanframento, o coroamento pretende minimizar o potencial físico de erosão,

típico deste local, com a atenuação do ângulo vivo formado entre a linha do chanframento e o nível do terreno (Figura 4.9, ângulo  $\alpha$ ).

Conforme a estrutura de madeira foi sendo erguida, feixes e ramos de *Calliandra brevipes* foram dispostos nos vãos das linhas de troncos e presos com arame de ponteamto, atrás da parede de madeira. A colocação de ramos e feixes vivos entre os espaços dos troncos caracteriza-se como a forma ideal de revegetação para este tipo de obra, pois impede a retirada de material (solo) com a força da água, mantendo a capacidade de brotação. A revegetação entre os espaços da estrutura de madeira teve que ser repetida posteriormente, com estacas e feixes de *Phyllanthus sellowianus*, *Pouteria salicifolia* e *Sebastiania schottiana*.

Na parte superior do talude, imediatamente após o chanframento, procurou-se cobrir a área com o plantio de mudas de *Cynodon plectostachyus* e *Calliandra tweedii*. O uso de uma gramínea – *Cynodon plectostachyus* – teve o objetivo de conferir uma relativa proteção à área no tempo necessário para a implantação e o desenvolvimento mais lento da vegetação definitiva (*Calliandra tweedii*).

Importante também foi deixar crescer toda e qualquer vegetação que surgiu naturalmente. Entretanto, para que as espécies plantadas não venham a morrer devido à concorrência com eventual vegetação emergente e menos adequada, e para que, com o passar do tempo, seu volume aéreo não se torne prejudicial às condições do local, pode ser necessário, futuramente, realizar-se tratos culturais que garantam essas características.

#### 4.2.4 – Resultados e discussão

Após ter-se providenciado todo o material e as ferramentas no local (2 dias de trabalho), a estrutura de madeira pôde ser erguida por 2 pessoas em 6 dias, ao final do mês de janeiro de 2003. Feito isso, a margem foi remodelada e o leito limpo com 2 horas de máquina. A nova margem foi revegetada em mais um dia de trabalho, por duas pessoas.

A primeira tentativa de revegetação da margem, realizada no mesmo momento da remodelagem do talude, contou com a utilização de estacas e feixes

de *Calliandra brevipes* entre a estrutura de madeira e mudas de *Calliandra tweedii* e *Cynodon plectostachyus*, na parte superior do talude, acima da estrutura de madeira. Essa última intervenção foi bem sucedida, porém a primeira foi completamente frustrada. Os ramos e feixes de *Calliandra brevipes* não se adaptaram a esta porção próxima ao nível da água e apodreceram antes de brotar. Assim, entre a estrutura de madeira, foram tentados novos plantios, utilizando estacas e feixes de *Phyllanthus sellowianus*, *Pouteria salicifolia* e *Sebastiania schottiana*. A dúvida quanto à melhor época para a revegetação, levou à realização de 3 plantios: um em março, outro em maio e o último em setembro, os quais produziram brotação e enraizaram-se ao talude.

Para maior garantia de sucesso é importante que, entre os vãos da estrutura de madeira, a revegetação seja feita no momento da construção, com feixes vivos, que impedem a retirada de solo destes locais. A tentativa posterior de plantar ou reimplantar os feixes torna a sua possibilidade de brotação bem menor. Também o plantio com estacas é menos interessante devido à facilidade com que elas podem ser levadas pela força da água.

A implantação da vegetação ocorreu de forma concomitante com a instalação do canteiro experimental, cujo objetivo foi o de verificar a aptidão biotécnica da vegetação. Isso explica a tomada de algumas decisões erradas e reforça a importância de se verificar mais a fundo o potencial biotécnico de cada espécie.

O desenvolvimento da vegetação foi modesto nos meses seguintes a sua implantação, que compreenderam fundamentalmente ao inverno. No entanto, na observação feita no início de outubro, notou-se um crescimento vigoroso, como resultado do início do novo período vegetativo. As estacas mostram-se com brotações e enraizadas, permitindo imaginar que o seu desenvolvimento seja suficiente, pelo menos, para garantir que não sejam arrancadas com a força da água. Com o passar deste primeiro período vegetativo, espera-se que, para o inverno de 2004, esta vegetação não só seja capaz de manter-se no local, como já providencie algum efeito de proteção ao talude. Na Figura 4.10 pode-se ver o aspecto atual do trecho.

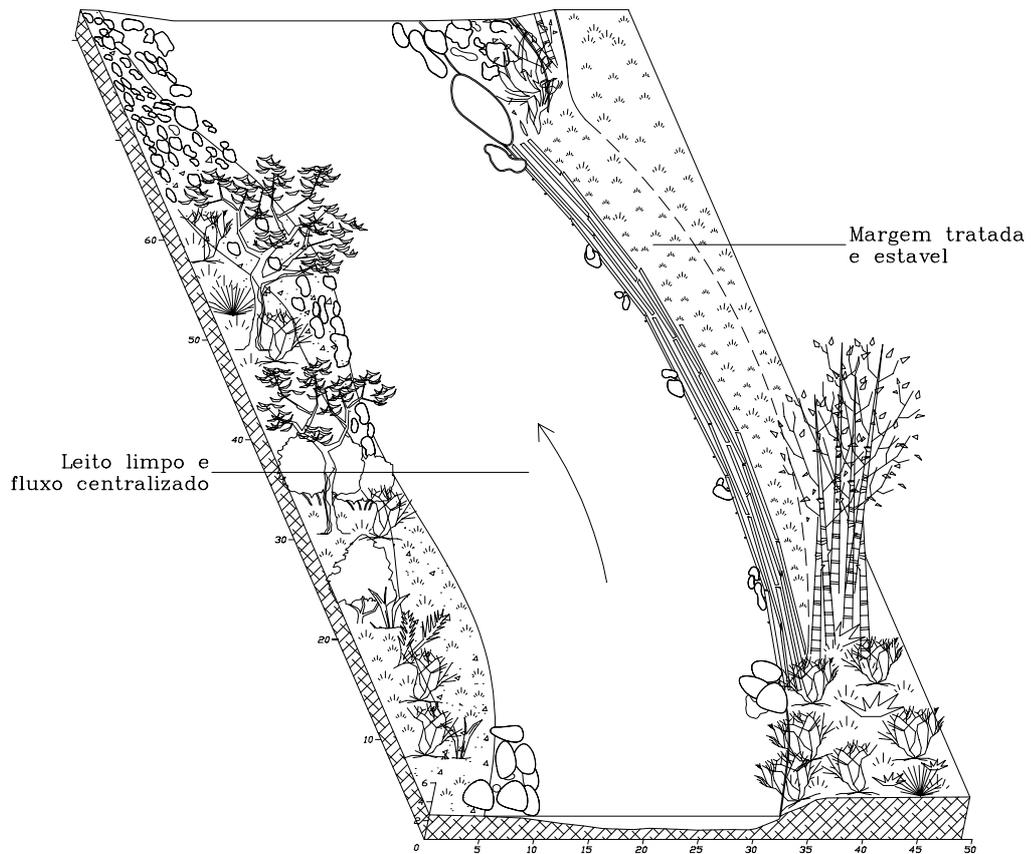


Figura 4.10.

Aspecto atual do trecho tratado do arroio Guarda-mor.

A estrutura de madeira resistiu às chuvas e ao comportamento torrencial do arroio Guarda-mor.

Implantada ao final do mês de janeiro de 2003 a obra passou por eventos torrenciais. Precipitações de mais de 100 mm em menos de 48 horas foram comuns. Chama a atenção a precipitação que soma 200 mm nos dias 27, 28, 29 e 30 de abril e a de 133 mm em um único dia (25 de outubro). Extraordinária foi a precipitação de 220 mm em menos de 12 horas no dia 15 de dezembro (Figura 4.11). Todos estes eventos tiveram efeito no arroio Guarda-mor e no local em tratamento, mas foi somente com o pico de precipitação em dezembro, já antecedido por um período chuvoso, que ocorreram pequenos danos à obra.

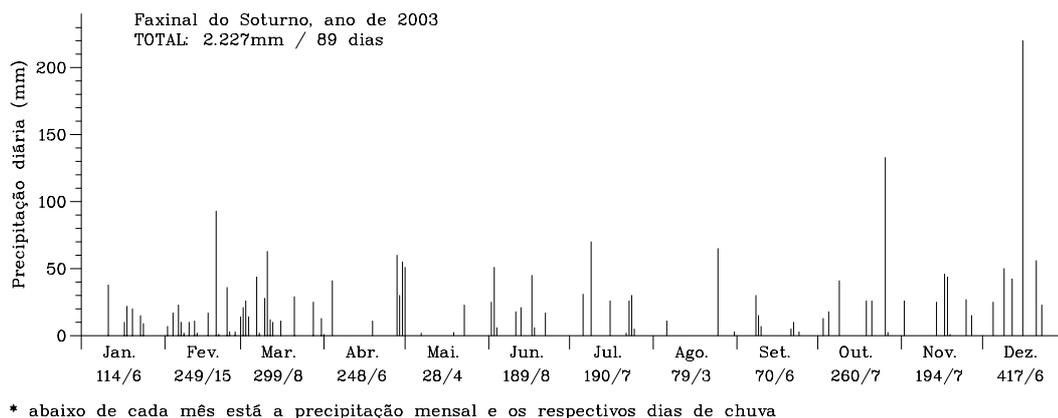


Figura 4.11.

Precipitação diária no município de Faxinal do Soturno  
(dados da Secretaria Municipal da Agricultura, Dotto 2003).

Esse último evento é considerado catastrófico para a região. Tal fato levou alguns municípios a decretarem estado de emergência devido aos estragos causados pelas chuvas (Machado – jornal Diário de Santa Maria de 07/01/2004). O mês de dezembro somou 417 mm em 6 dias de chuva. Segundo dados da Secretaria Municipal da Agricultura de Faxinal do Soturno, nos últimos 20 anos, já se registraram precipitações mensais de mais de 450 mm. No entanto, estes são eventos extraordinários, normalmente resultado dos anos de ‘El Niño’, como os ocorridos em 1997 e 2002.

Mesmo assim, os efeitos sobre a obra ficaram longe de serem graves. Dos 40 metros de margem tratada somente em 4 metros o solo foi removido de trás da estrutura de madeira e as estacas pouco (menos) enraizadas foram levadas pela força da água. Esses danos só ocorreram por não ter sido possível implantar a vegetação (feixes vivos) no mesmo momento da construção da estrutura de madeira e por não se ter acrescentado uma ou duas linhas de troncos, tornando a proteção da margem mais completa.

A oportunidade de verificar que a estrutura física resistiu a precipitações muito elevadas e foi capaz de manter a estabilidade da área, mesmo com tão pouco tempo da implantação, não podendo assim contar com um apoio efetivo da vegetação, é uma informação importante, que ajuda a dar idéia do potencial deste tipo de intervenção.

#### 4.2.4.1 – Custos da obra

A seguir, é apresentada uma tabela detalhando os custos com os materiais construtivos, vegetativos e os serviços empregados no trabalho.

Tabela 4.2. Custos da obra (Parede vegetada de madeira).

<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quant.</b>	<b>Preço (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
<b>Material Construtivo</b>				
pilotos de eucalipto (8 x 8 x 150 cm)	peça	27	3,90	105,30
estacas roliças (8 cm x 2 m)	peça	60	2,40	144,00
troncos de eucalip. (20 cm d.) c/ transporte	metro lin.	170	1,20	204,00
arame de 6 mm	kg	10	4,50	45,00
arame de 3 mm	kg	1	5,00	5,00
grampos de cerca	kg	0,5	1,70	0,85
			<b>Total</b>	<b>504,15</b>
<b>Material de Consumo</b>				
combustível (p/motosserra)	litro	2	2,32	4,64
óleo 2 t	litro	0,2	6,00	1,20
óleo lubrificante p/correa	litro	0,4	5,00	2,00
			<b>Total</b>	<b>7,84</b>
<b>Material Vegetal</b>				
mudas	unidade	400	0,50	200,00
estacas e feixes vivos (serviço de coleta)*	pessoa/dia	1	15,00	15,00
			<b>Total</b>	<b>215,00</b>
<b>Serviços</b>				
dias de serviço	pessoa/dia	14	15,00	210,00
retro-escavadeira	hora	3	55,00	165,00
			<b>Total</b>	<b>375,00</b>
<b>TOTAL GERAL</b>				<b>1094,15</b>

\*foram considerados os custos para a coleta do material

Muitos destes materiais normalmente podem ser adquiridos diretamente na região, com baixo custo ou mesmo sem custo. Os troncos de eucaliptos existem nas propriedades, e as mudas podem ser conseguidas nas prefeituras ou através dos inúmeros programas de distribuição. Também os serviços de máquina (retro-escavadeira) são gratuitos até um certo limite de horas para cada agricultor. No entanto, na Tabela 4.2, todos os materiais tiveram seu possível custo considerado. Com relação ao material de propagação vegetativa, foram considerados os custos de serviço para a sua coleta e preparo, pois é impossível de ser encontrado à venda e pode ser facilmente coletado na região.

Considerando que foram tratados 40 metros de margem, o custo por metro foi de R\$ 28,00. No entanto, ao considerar que as mudas podem ser adquiridas de forma gratuita, que as horas/máquina podem não apresentar custos para o agricultor e imaginando-se que a madeira seja proveniente de sua propriedade e que a mão-de-obra empregada seja a sua, o desembolso se torna bem menor, podendo ficar entorno R\$ 10,00 por metro de margem tratada.

#### 4.2.5 – Conclusões

Mesmo que ainda não seja possível concluir quanto ao sucesso definitivo da intervenção, a biotécnica aqui apresentada mostra-se exequível com o material construtivo e a vegetação local e traz, inicialmente, os efeitos esperados. As falhas cometidas no trabalho proporcionaram aprendizado e, até o momento, não inviabilizaram o sucesso da intervenção. Com isso, erros futuros serão evitados e obras futuras poderão ser executadas de forma mais rápida e a menor custo.

A parede vegetada de madeira mostra-se, até o momento, capaz de resolver problemas com grau de dificuldade razoável, mantendo o talude estável em um ângulo bastante alto e suportando eventos torrenciais de proporções raras. Com um custo de R\$ 28,00 por metro de margem tratada, a obra justificando-se somente em situações nas quais o investimento possa significar um retorno compatível. No entanto, o desembolso efetivo de um agricultor (proprietário) pode ser bem menor na medida que os materiais construtivos sejam encontrados na propriedade e o trabalho seja feito pelo próprio interessado.

O uso de estacas e feixes vivos de *Calliandra brevipes* entre a estrutura de madeira e próximo ao nível da água não mostra eficiência alguma; no entanto, as mudas de *Calliandra tweedii*, utilizadas para revegetar a parte superior do talude, vêm se desenvolvendo. As mudas de *Cynodon plectostachyus* também produziram o efeito esperado, recobrando total e rapidamente (3 meses) os 160 m<sup>2</sup> de área da parte superior do talude. O desenvolvimento das estacas e feixes de *Pouteria salicifolia*, *Sebastiania schottiana* e principalmente de *Phyllanthus sellowianus* parecem bastante promissores. Já as estacas de *Terminalia australis* não demonstram o mesmo desenvolvimento, embora, pela pequena utilização de

material desta espécie, não seja possível concluir quanto a sua eficiência.

Com a chegada do verão tem-se a perspectiva de que a vegetação se desenvolva vigorosamente e, com o passar de um ou dois períodos vegetativos, seja capaz de proporcionar seus primeiros efeitos na estabilidade da nova margem.

### **4.3 – Esteira viva (Spreitlage)**

#### **4.3.1 – Apresentação do problema**

Na região, é comum a concretagem do leito dos cursos de água, em alguns pontos, para a passagem de veículos, em substituição às pontes tradicionais. Essas obras são conhecidas como ‘barragens’ e têm como objetivo criar um pequeno barramento a fim de que, com um nível normal da água, as pessoas e carros consigam passar à seco ou com uma pequena profundidade de água.

Dando acesso à propriedade da Família Cordeiro, existe uma dessas obras, que, devido à instabilidade das margens, já foi destruída, por diversas vezes, pela força torrencial do arroio Guarda-mor. Mesmo quando a ‘barragem’ não é levada pela força da água, é necessário que as margens e o leito sejam readequados, a fim de garantir que, com o próximo comportamento torrencial, não seja destruída.

Toda a área em torno da ‘barragem’ é instável, sendo que nos 20 a 30 metros que à antecedem, na sua margem direita, encontra-se o ponto mais frágil. Neste local, forma-se um pequeno remanso, onde normalmente o arroio não desenvolve nenhum tipo de erosão e, até mesmo, deposita material no local. No entanto, com um evento torrencial, a força da água passa a bater de frente com a margem, cavando sulcos em direção a esta.

Mais grave é a existência de uma valeta que contribui ao arroio com as águas captadas da estrada e da lavoura de arroz. Quando o arroio Guarda-mor consegue superar o nível-de-base da valeta, inverte-se o fluxo, passando o arroio a contribuir com suas águas à valeta. Estando a valeta contra o sentido das águas do arroio os estragos são inevitáveis, comprometendo o encaixe da ‘barragem’ e dando oportunidade para que a força da água cave e desenterre a mesma.

Tais observações justificam uma intervenção com vistas a estabilizar o local. Até então este trecho foi alterado e reconstruído por diversas vezes e o canal desobstruído para centralizar o fluxo, mas nenhuma tentativa destinada a proteger fisicamente a margem, e principalmente que utilizasse a vegetação para isso, foi tentada.

#### 4.3.2 – Proposta geral

De maneira semelhante à obra anterior, são combinadas medidas vegetativas com algumas intervenções físicas. No local, podem ser realizadas várias intervenções a fim de garantir a estabilidade geral do trecho. Sugere-se que, se a ‘barragem’ tiver de ser reconstruída, os seus encaixes (principalmente o da margem direita) devem ser reforçados com a construção de paredes duplas de madeira, fortemente revegetadas com feixes vivos e estacas. E, deve-se modificar a valeta fazendo com que ela contribua no mesmo sentido do curso de água. Assim, quando as águas do Guarda-mor ultrapassarem o nível-de-base da valeta, não serão capazes de causar danos graves, criando apenas um refluxo.

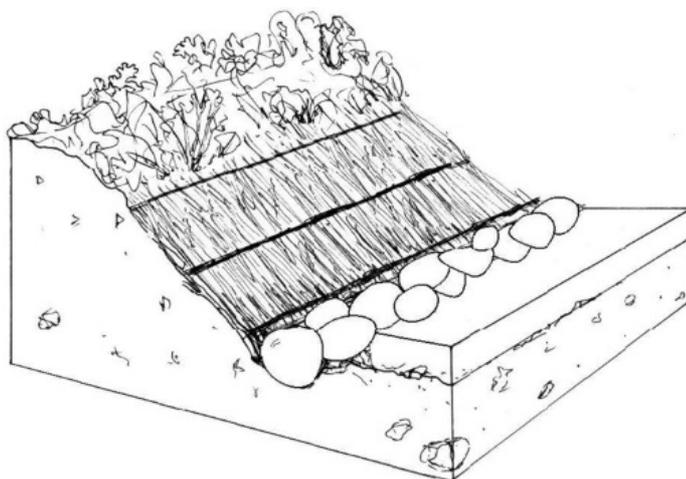


Figura 4.12.

Efeito esperado na margem após a implantação da esteira viva.

Neste momento, uma intervenção para consolidar a margem direita, em uma extensão de 20 metros, antecedendo a barragem na sua margem direita, é

importante. O talude pode ter uma inclinação relativamente pequena (2:1), tornando fácil e ainda mais eficiente a implantação de uma esteira viva.

A sugestão é que o talude seja remodelado, e a esteira de ramos disposta contra a nova margem e presa com a ajuda de arame e pedras na base, para só então receber uma pequena camada de solo, produzindo um efeito parecido com o mostrado na Figura 4.12.

O uso de grande quantidade de material vegetal e sua disposição especial sobre o terreno proporcionam um efeito físico de proteção, imediatamente após sua implantação, destacando esta biotécnica como uma das mais promissoras em situações semelhantes.

#### 4.3.3 – Detalhamento do trabalho

##### 4.3.3.1 – Obtenção dos materiais

As pedras necessárias para proteger o pé do talude são conseguidas no próprio leito. Os pilotos de 4 x 4 cm x 1,3 m, usados para fixar a vegetação, foram preparados com madeira de eucalipto.

A literatura pressupõe que estes tratamentos sejam realizados utilizando-se somente uma espécie ou uma combinação conveniente e já conhecida de algumas espécies. Neste experimento, foram usadas várias que estavam disponíveis, com o objetivo de observar seus respectivos comportamentos. Foram utilizados ramos de *Pouteria salicifolia*, *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana*, *Salix viminalis* e *Terminalia australis*. Como já estavam disponíveis os primeiros resultados do experimento com a vegetação e devido às experiências da construção da primeira obra, não se fez uso da *Calliandra brevipes* e/ou *Calliandra tweedii*. Deu-se prioridade para o uso de *Terminalia australis* que não foi ainda experimentada, mas, que, com base na literatura, parece ser bastante promissora.

##### 4.3.3.2 – Execução do trabalho

O primeiro passo foi o de remodelar o talude de maneira similar à obra anterior, chanfrando e coroando a margem. Neste caso, a proteção ao nível da

água já é providenciada pela própria forma especial de revegetação e é apoiada por pedras distribuídas na base. Aqui foi possível usar uma inclinação menor (2:1) e um raio de 5 metros para o coroamento, conforme mostrado na Figura 4.13.

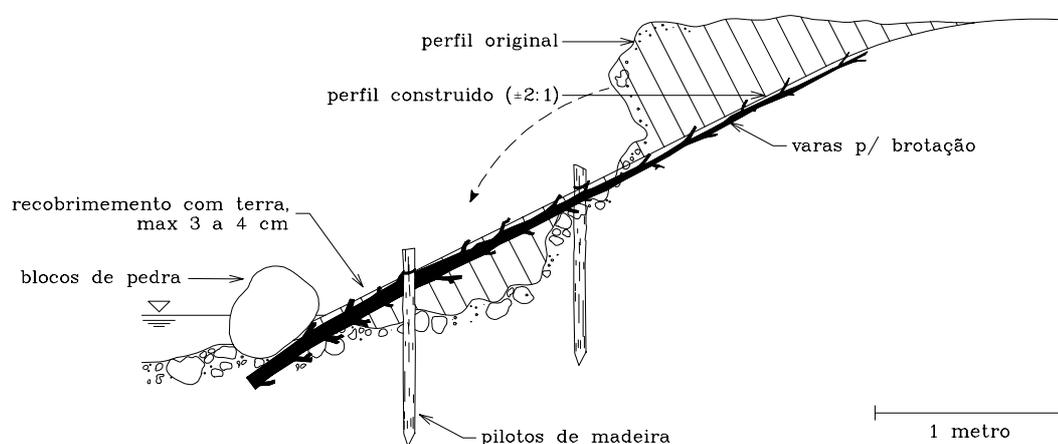


Figura 4.13.

Construção da esteira viva, corte transversal.

O passo seguinte foi o da coleta do material vegetal. Como este material deveria ser usado em grande quantidade, optou-se por tomá-lo em um ponto, no qual existe em maior abundância, no Rio Soturno, à 8 km do local da obra. Isso tornou necessário o transporte com um caminhão. Três pessoas foram capazes de coletar, transportar e fixar o material na margem já remodelada, em um só dia.

Para fixar os ramos, foram usados pilotos de madeira (eucalipto), colocados de 2 em 2 metros um do outro, formando fileiras intercaladas, conforme demonstrado na Figura 4.13.

No dia seguinte, as pedras foram colocadas na base, manualmente, e com a ajuda de retro-escavadeira, que também recobriu o local com uma camada de solo. Para o trabalho, foram necessárias as ferramentas listadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Ferramentas utilizadas no trabalho (Esteira viva).

Ferramentas / Equipamentos	Quantidade	Ferramentas / Equipamentos	Quantidade
alicate (comum)	1	pá de corte	1
bate-estaca de madeira	1	serrote de poda	3
machadinha	1	tesoura de poda - grande	1
marreta (4 kg)	1	tesoura de poda - pequena	2
martelo	1	trena (20 m)	1

#### 4.3.4 – Resultados e discussão

Quinze dias após a implantação, observou-se brotação vigorosa dos ramos de *Salix humboldtiana* e *Salix viminalis*, seguidos da brotação de *Sebastiania schottiana*. Os ramos de *Pouteria salicifolia* iniciaram a brotação um mês depois, porém de maneira igualmente vigorosa.

Surpreendente foi a pequena e tardia brotação de *Terminalia australis*. Essa espécie não havia sido testada nos experimentos anteriores, mas é comum no arroio Guarda-mor e muito recomendada pela literatura. Tem-se claramente a necessidade de melhor conhecê-la e testá-la em experimentos futuros, afim de verificar esse primeiro resultado que a desqualifica como espécie importante para a bioengenharia.

Não fosse o equívoco de providenciar uma cobertura demasiada de solo sobre os ramos, o efeito visual já seria completo, após um mês. A falha em cobrir os ramos com uma camada muito espessa de solo é grave e, por vezes, pode pôr a perder todo o trabalho. Neste caso, o excesso de solo não foi suficiente para inviabilizar os resultados de estabilização, mas retardou o desenvolvimento inicial da vegetação.

Existe a necessidade de utilização de grande volume de material vegetal. No entanto, com a brotação vigorosa que a vegetação vem apresentando, o proprietário terá agora a sua disposição quantidade suficiente de material no próprio local para que sucessivamente vá estabilizando outras áreas. As brotações que resultam da confecção da esteira viva são mais homogêneas e retas, proporcionando material ainda mais adequado para a construção de novas obras. Por isso, locais como este poderão servir como fonte de material para as obras futuras.

O talude totalmente reconstruído (aterrado) mostrou-se bastante friável, e o primeiro pilotamento com estacas de 3 x 2 x 80 cm não foi capaz de prender os ramos ao mesmo com a força esperada. Assim, este trabalho foi totalmente refeito, utilizando-se estacas maiores (4 x 4 x 120 cm).

Com as fortes chuvas do dia 15 de dezembro de 2003 (Figura 4.11), como já havia ocorrido em outros momentos, a água do arroio superou o nível-de-base da

valeta. A vegetação, com quase 3 meses de desenvolvimento, estava significativamente enraizada ao talude, como foi possível observar após o efeito da água. Isso, no entanto, foi insuficiente para evitar que o primeiro quarto da margem tratada, que adentrava à valeta, fosse danificado pela força da água. Isso confirmou a previsão inicial de que este ponto deveria, quando possível, ser alterado fazendo com que a valeta contribuísse a favor do sentido do curso de água e que o encaixe direito da 'barragem' fosse protegido com a construção de uma parede vegetada de madeira (dupla).

#### 4.3.4.1 – Custos da obra

De maneira semelhante à obra anterior, são listados os custos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Custos da obra (Esteira viva).

<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quant.</b>	<b>Preço (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
<b>Material Construtivo</b>				
estacas (4 x 4 x 120 cm)	peça	30	2,00	60,00
arame de 4 mm	kg	1	5,00	5,00
grampos de cerca	kg	0,3	1,70	0,51
			<b>Total</b>	<b>65,51</b>
<b>Material Vegetal</b>				
coleta do material (serviço)*	pessoa/dia	1	15,00	15,00
			<b>Total</b>	<b>15,00</b>
<b>Serviços</b>				
transporte	frete	1	20,00	20,00
dias de serviço	pessoa/dia	6	15,00	90,00
retro-escavadeira	hora	2	55,00	110,00
			<b>Total</b>	<b>220,00</b>
<b>TOTAL GERAL</b>				<b>300,51</b>

\*foram considerados os custos para a coleta do material

Como foram tratados 20 metros de margem, o custo por metro foi de R\$ 15,00. No entanto, se forem subtraídos os gastos com retro-escavadeira e se o proprietário realizar o trabalho e também o transporte do material, os custos se reduzem a menos de R\$ 7,00 por metro de margem tratada.

#### 4.3.5 – Conclusões

Apesar do pouco tempo de observação após a implantação, tem-se expectativa de sucesso. A continuidade das observações e a obtenção de dados (qualitativos e quantitativos) tornam-se fundamentais para melhor avaliar o comportamento da esteira viva. Por outro lado, os baixos custos de implantação fazem desta biotécnica uma alternativa interessante, facilitando a repetição de novos experimentos práticos.

Com exceção da *Terminalia australis*, todas as espécies enraizaram e recobriram totalmente o local em dois meses. *Salix viminalis* e *Salix humboldtiana* mostraram um vigor surpreendente.

Mesmo comprometida pela falta de brotação da *Terminalia australis* e pelos danos causados pelo evento torrencial do dia 15 de dezembro de 2003, a obra mostra efeitos de proteção à nova margem.

Ficou evidente que a instabilidade da área não é resultado exclusivo do comportamento torrencial do arroio Guarda-mor, mas que esse é capaz de criar problemas neste trecho devido às fortes alterações antrópicas já realizadas no local.

O arroio Guarda-mor e sua área de drenagem podem ser segregados em quatro seções (denominadas de seção I, II, III e IV, respectivamente), distinguíveis pelas suas características topográficas, vegetacionais, hidrográficas, utilização atual do solo e demais ações antrópicas atuais e pregressas. Cada uma destas seções apresenta, predominantemente, processos fluviais peculiares e relacionados às suas características.

Os cursos de água que formam a bacia nascem, quase que exclusivamente na seção I, caracterizada pela maior altitude, declividade moderada e cobertura vegetal bastante diversificada. Estes cursos de água, ainda pequenos, tomam força e ganham velocidade ao descerem as altas pendentes (até mais de 100%) da seção II. Esta é uma zona tanto de escavação como de transporte. No entanto, ainda não são notados problemas significativos, principalmente devido à densa cobertura vegetal (florestal) e ao substrato basáltico, resistente, pelo qual os pequenos e velozes cursos de água descrevem o seu trajeto. A velocidade adquirida na primeira e segunda seção, revela seu efeito ao atingir a seção III, com declividade bem menor, mas cobertura vegetal menos apropriada e substrato frágil. Os materiais de maiores dimensões alcançam sua velocidade limite de transporte e depositam-se, gradativamente, ao longo desta seção. Os processos de corrosão, transporte e especialmente a sedimentação, iniciados na seção III, agravam-se e intensificam a sua ocorrência em direção à seção IV na qual o comportamento torrencial, outrora de transporte e de montanha, assume um típico comportamento de planície, ocasionando inconvenientes que despertam a preocupação dos proprietários ribeirinhos e das autoridades municipais de Faxinal do Soturno.

Os principais problemas identificados nas seções III e IV referem-se à falta de estabilidade das margens, ou seja, dos taludes fluviais.

O uso da vegetação como ferramenta para a solução destes problemas mostrou-se eficiente. As espécies estudadas no canteiro experimental – *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana* e *Salix humboldtiana* –, mostraram características compatíveis com o tipo de exigência identificada no local. *Calliandra brevipes*, no entanto, não apresentou resultados promissores.

*Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana* foram as espécies que apresentaram melhores resultados, quando medidas a sua produção de brotos e raízes no canteiro experimental, e quando verificado (visualmente) o seu desenvolvimento nos trechos tratados. Na dependência do efeito esperado e/ou das características do problema a ser solucionado, a melhor escolha pode recair sobre uma ou outra destas espécies ou, mesmo, uma combinação de ambas. *Phyllanthus sellowianus* produziu o maior número de raízes (no mínimo 50% a mais que qualquer outras das espécies), no entanto, a sua tendência em concentrar as raízes na base da estaca desqualifica esta espécie para algumas formas de revegetação preconizadas pela bioengenharia – esteira e feixes vivos, por exemplo. Já *Salix humboldtiana* produz raízes muito mais longas (com até mais de um metro e meio) e, aparentemente, mais fortes. Para a estabilização de um talude muito alto, no qual a linha de ruptura se dá, presumivelmente, a uma maior distância, o uso desta última espécie pode ser muito mais apropriado. No entanto, por tratar-se de uma árvore e não de um arbusto, a forma de plantio e os tratos culturais devem ser executados de maneira a evitar o desenvolvimento de plantas muito altas, que possam significar uma sobrecarga no talude. Por outro lado, se o salso (*Salix humboldtiana*) for plantado em taludes pouco íngremes ou a uma maior distância das margens mais instáveis, inclusive deslocando o centro de gravidade para uma posição mais próxima à linha de fratura, isso pode significar ganho de estabilidade e utilização econômica das áreas marginais.

Tão importante quanto o uso da espécie adequada, capaz de trazer os efeitos técnicos esperados, é a forma de plantio e as demais intervenções físicas e construtivas que podem ser necessárias.

Os dois modelos de estabilização experimentados – parede vegetada de madeira e esteira viva –, vêm produzindo os efeitos esperados e mostraram-se exequíveis com o material disponível na região. Com a busca de materiais construtivos adequados, abundantes e baratos, os custos revelaram-se compatíveis à realidade local, sendo justificáveis, na dependência da gravidade do problema e dos benefícios conseguidos.

Obras ou modelos capazes de controlar os processos erosivos e de sedimentação de cursos de água – obras de bioengenharia –, têm seus princípios físicos conhecidos. Têm-se, contudo, a necessidade de novas pesquisas sobre a disponibilidade e a aplicabilidade de materiais construtivos da região, bem como sobre o potencial biotécnico de outras espécies vegetais de ocorrência local. Existem outros métodos possíveis e outros materiais que podem e devem ser experimentados. Restos culturais, como os providenciados pela orizicultura, podem significar excelente material para alguns métodos de engenharia biotécnica, por exemplo. Também a vegetação local apresenta outras espécies potenciais que não foram aqui estudadas.

Sugere-se, firmemente, a importância de repetir os experimentos com as espécies já testadas, porém, em outros períodos do ano, bem como construir novos canteiros experimentais incluindo espécies como *Terminalia australis*, *Pouteria salicifolia*, *Morus nigra* e *Morus alba*. Além disso, é necessária a investigação de espécies de gramíneas e de herbáceas.

O conhecimento das características biotécnicas da vegetação é fundamental e precede as tentativas de estabilização dos taludes pelas obras de bioengenharia.

Fenômenos de erosão e sedimentação, como os percebidos no arroio Guarda-mor, não devem ser vistos como um dano irreversível, desencadeado pela ação humana. Tais processos têm a sua origem na própria natureza e encontram na ação humana o risco de desequilíbrio. Há, portanto, necessidade de que as ações antrópicas também sejam preocupadas e voltadas para o controle destes processos.

Obras de bioengenharia, que contem com espécies vegetais e materiais encontrados na região, mostram-se promissoras para produzir este efeito.

## BIBLIOGRAFIA

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

AULITZKY, H.; FIEBIGER, G. U.; DIERA, N. *Grundlagen der Wildbach und Lawinenverbauung - Voläufige Studienblätter*. Wien: Institut für Wildbach und Lawinenverbauung. Univesität für Bodenkultur, 1990.

BANDINI, A. *Hidráulica Fluvial*. São Carlos: Serviço de Publicações da Escola de Engenharia de São Carlos, 1958.

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

BIGARELLA, J. J.; SUGUIO, K.; BECKER, R. D. *Ambiente Fluvial - Ambientes de Sedimentação, sua interpretação e importância*. Curitiba: Edit. UFPR, 1979.

BINDER, W.; JURGING, P.; KARL, J. Natural River Engineering – characteristics and limitations. *Garden und Landschaft*, 2, 1983. p.91-94.

BILONI, J. S. *Arboles Autoctonos Argentinos*. Buenos Aires: Tipográfica Editora Argentina, 1990.

BOELCKE O. *Plantas Vasculares de la Argentina Nativas y Exóticas*. Buenos Aires, 1981.

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.

BRASIL, Ministério do Exército, Diretoria de Obras de Cooperação. *Utilizando a Bioengenharia*. Boletim Técnico. Disponível em: <[http://www.exercito.gov.br/06OMs/Diretori/doc/bol\\_tec/bioengenharia.htm](http://www.exercito.gov.br/06OMs/Diretori/doc/bol_tec/bioengenharia.htm)>. Acesso em: 16 maio. 2003.

BRASIL, Ministério do Exército, Diretoria de Serviço Geográfico. *Carta Camobi*. Região Sul do Brasil – 1:50000, Folha SH.22-V-C-IV-2, MI – 2965/2. Brasil, 1976.

\_\_\_\_\_. *Carta Faxinal do Soturno*. Região Sul do Brasil – 1:50000, Folha SH.22-V-C-IV-2, MI – 2966/1. Brasil, 1976.

\_\_\_\_\_. *Aerofotograma pancromático*. R-012, Fx-059A, 2564 60, 88.05mm, vôo de 17/05/1996.

BURKART, A. Leguminosas. In: REITZ, P. R. *Flora Ilustrada Catarinense*. Itajaí: Herbário Barbosa Robrigues, 1979.

CABRERA, A. L.; CORREA, M. N.; DAWSON, G.; FABRIS, H. A.; KRAPOVICKAS, A.; PONTIROLI, A. *Flora de la Provincia de Buenos Aires - Oxalidáceas a Umbelíferas*. Parte IV. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria (INTA), 1965.

CAPUTO, H. P. *Mecânica dos Solos e suas aplicações*. v. 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1973.

\_\_\_\_\_. *Mecânica dos Solos e suas aplicações*. v. 2. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1974.

CARSON, M. A. *The Mechanics of Erosion*. Londres: Pion Limited, 1971.

CASSETTI, V. *Elementos de Geomorfologia*. Goiás: Ed. UFG, 1994.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edit. USP, 1974.

\_\_\_\_\_. *Geomorfologia Fluvial – o canal fluvial*. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

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

DOTTO, S. J. *Índices Pluviométricos no Município de Faxinal do Soturno – RS: período - 1982 à 2003*. Faxinal do Soturno: Prefeitura Municipal / Secretaria da Agricultura e Meio Ambiente, 2003.

DU BOYS, P. Le Rhore et les rivières a lit affonillable. Annales des Ponts et Chaussees, ser. 5, vol. XVIII, 1879. p.141-195.

DURLO, M. A. Biotécnicas no manejo de cursos de água. *Ciência & Ambiente*. n° 21, Santa Maria: Pallotti, 2001. 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 n° 10, Santa Maria: Ed. UFSM, 2002.

\_\_\_\_\_. *Manejo Biotécnico de Cursos de Água: Tratamento Longitudinal*. UFSM / CCR / Caderno Didático n° 11, Santa Maria: Ed. UFSM, 2003.

FELKEL, K. *Gemessene Abflüsse in Gerinnen mit Weidenbewuchs*. Helf 15, Karlsruhe: Mitt. Bundesanstalt für Wasserbau, 1960.

FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: uma Abordagem Geológico-Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. R. de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.123-194.

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

FLORINETH, F. Ingenieurbiologische Maßnahmen bei Fließgewässern in Südtirol. In: *Ökologie von Fließgewässern - Ingenieurbiologische Sicherungsmaßnahmen*. Wien: Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau d. TU, 1982.

\_\_\_\_\_. *Weidenspreitlagen als Weg zur schnellen Uferbepflanzung und sicherung*. Mitteilungen der Gesellschaft für Ingenieurbiologie Deutschlands. Band 4, 1995.

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

GERSTGRASER, C. H. *Ingenieurbiologische Bauweisen an Fließgewässern - Grundlagen zu Bau, Belastbarkeiten und Wirkungsweisen*. Diss. Universität für Bodenkultur, Wien, 1998.

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

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M. *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação*. São Paulo: Edgard Blücher, 1983.

LEINZ V. & AMARAL, S. E. *Geologia geral*. 7<sup>o</sup> ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1978.

LEITE, P. F. *As Diferentes Unidades Fitoecológicas da Região Sul do Brasil. – Proposta de classificação*. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

\_\_\_\_\_. Contribuição ao conhecimento fitoecológico do sul do Brasil. *Ciência & Ambiente*. n<sup>o</sup> 24, Santa Maria: Pallotti, 2002. p.51-73.

LfU. *Naturgemässe Bauweisen - Oberirdische Gewässer*. Gewässerbiologie 47. 1. Auflage. Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz, 1996.

LOMBARDO, A. *Flora Arborea y Arborescente del Uruguay*. 2<sup>o</sup> edição. Motevideo, 1964.

LONGHI, S. J. *Nomenclatura de Espécies Florestais e Ornamentais do Rio Grande do Sul*. Série Técnica n° 3. Santa Maria: CEPEF / FATEC, 1988.

LORENZI, H. *Árvores brasileiras - manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa: Plantarum, 1992.

LORENZI, H. & SOUSA, H. *Manual de Plantas Ornamentais no Brasil - arbustivas, herbáceas e trepadeiras*. Nova Odessa: Plantarum, 1995.

MACHADO, T. Arroio Grande pede socorro. *Diário de Santa Maria*, Santa Maria, p.7, 07 jan. 2004.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p.23-50.

MAYER, R. *Noções de Hidráulica Florestal*. Direção geral dos serviços florestais aquícolas. Alcobaça: Tip. Alcobacense, 1941.

MARCHIORI, J. N. C. & SOBRAL, M. *Dendrologia das Angiospermas - Myrtales*. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1997.

MARCHIORI, J. N. C. *Dendrologia das Angiospermas - Leguminosas*. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1997.

\_\_\_\_\_. *Dendrologia das Angiospermas - das Bixáceas às Rosáceas*. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2000.

\_\_\_\_\_. *Fitogeografia do Rio Grande do Sul - enfoque histórico e sistemas de classificação*. Porto Alegre: Ed. EST, 2002.

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

MORGAN, R. P. C. & RICKSON, R. J. *Slope Stabilization and Erosion Control - a bioengineering approach*. London: E & FN Spon, 1995.

MORISAWA, M. *Streams - their dynamics and morphology*. New York, 1968.

NETTO, A. & ALVAREZ, G. A. *Manual de Hidráulica*. 7<sup>o</sup> ed. v. II. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

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.

ÖWWV. *Leitfaden für den Natur- und Schutz Wasserbau an Fließgewässern*. Regelblatt, 1984.

PASTORE, U. & RANGEL FILHO, A. L. R. Vegetação. As regiões fitoecológicas, sua natureza, seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico. In: IBGE. *Levantamento de Recursos Naturais, v. 33 - Folha Uruguaiana*. Rio de Janeiro, 1986. p.541-632.

PINHEIRO, R. J. B. *Estudo de Alguns Casos de Instabilidade da Encosta da Serra Geral no Estado do Rio Grande do Sul*. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PONTELLI, M. E. *O Rebordo do Planalto na Região de Santa Maria - um estudo geomorfológico*. 1994. Monografia (Especialização em Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1994.

PRODESUS. *Inventário Florestal da Região da Quarta Colônia de Imigração Italiana do Rio Grande do Sul*. Santa Maria, 1998.

REITZ, P. R. Combretáceas. In: REITZ, P. R. *Flora Ilustrada Catarinense*. Itajaí: Herbário Barbosa Robrigues, 1967.

\_\_\_\_\_. Euforbiáceas. In: REITZ, P. R. (Org.). *Flora Ilustrada Catarinense*. Itajaí: Herbário Barbosa Robrigues, 1988.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. *Projeto Madeira do Rio Grande do Sul*. Superintendência do Desenvolvimento da Região Sul (SUDESUL) – Governo do Estado do Rio Grande do Sul (RS) – Herbário Barbosa Robrigues (HBR), 1988.

SAWYER, K. E. *Landscape Studies - an introduction to geomorphology*. London: Edward Arnold, 1975.

SCHIECHTL, H. M. *Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau*. München: Callway, 1973.

\_\_\_\_\_. *Bioengineering for Land Reclamation and Conservation*. Edmonton: University of Alberta Press, 1980.

SCHIECHTL, H. M. & STERN, R. *Handbuch für naturnahen Erdbau: Eine Einleitung für ingenieurbiologische Bauweisen*. Wien: Österreichischer Agrarverlag, Druck und Verlagsgesellschaft m.b.H., 1992.

\_\_\_\_\_. *Handbuch für naturnahen Wasserbau: Eine Einleitung für ingenieurbiologische Bauweisen*. Wien: Österreichischer Agrarverlag, Druck und Verlagsgesellschaft m.b.H., 1994.

SCHUMM, S. A. *River Morphology*. Pennsylvania: DH&R, 1972.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia - ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS Ed. da Univ., ABRH, EDUSP, 1993.

SOUSA, E. B. *Fotointerpretação da Rede de Drenagem na Diferenciação de Unidades de mapeamento de Solos Ocorrentes na Depressão Central do Rio Grande do Sul*. 1977, Dissertação (Mestrado em Engenharia Rural) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1977.

SUTILI, F. J. *Bacia hidrográfica do arroio Guarda-mor - características e proposições para o manejo dos cursos de água*. Santa Maria. 2001. Monografia (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

SUTILI, F. J.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Potencial Biotécnico do sarandi-branco (*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.) e vime (*Salix viminalis* L.) para a revegetação de margens de cursos de água. *Ciência Florestal*, Santa Maria: Ed. UFSM, 2004.

TEIXEIRA, M. B. & COURA NETO, A. B. Vegetação. As regiões fitoecológicas, sua natureza, seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico. In: IBGE. *Levantamento de Recursos Naturais, v. 33 - Folha Porto Alegre e Lagoa Mirim*. Rio de Janeiro, 1986. p.541-632.

WEINMEISTER, H. W. *Vorlesung Wildbachkunde - Skriptum, vorläufige Ausgabe*. Wien: Institut für Wildbach und Lawinenschutz. Universität für Bodenkultur, 1994.

WOLLE, C. M. Poluição e Escorregamentos - Causas e Efeitos na Serra do Mar. In: 8º COBRAMSEF, 1986, Porto Alegre. Anais... v. 7. Porto Alegre: ABMS, 1986. p.178-190.

\_\_\_\_\_. 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.

## **ANEXO FOTOGRAFICO**

## Canteiro experimental



Construção do canteiro.



Aspecto geral do canteiro (após um mês).



Plantas de *P. sellowianus*, após um mês.



Primeira coleta de dados.



*P. sellowianus*, detalhe (2 meses).



*P. sellowianus*, *S. humboldtiana* (5 meses).



Estaca de *S. humboldtiana* (5 meses).



Medição das variáveis.

## Parede vegetada de madeira (Krainierwand)



Situação em 15/01/'03.



Situação em 15/01/'03.



Piloteamento.



Colocação das estacas horizontais.



Amarras (detalhe).



Duas primeiras linhas instaladas.



Retirada das touceiras de taquaras.



Remodelagem do talude (margem).



Remodelagem do talude (margem).



Situação em 15/05/'03.



Plantas crescendo, 15/08/'03.



Situação em 15/08/'03.



Detalhe em 14/09/'03.

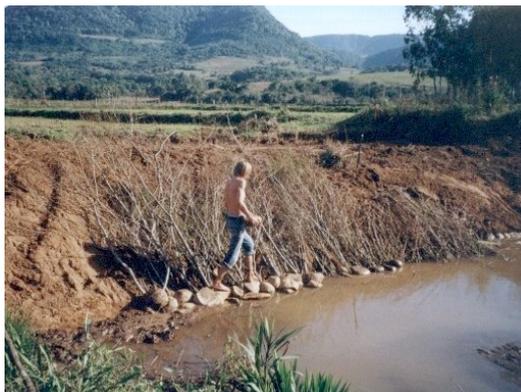
## Esteira viva (Spreitlage)



Situação da área a ser tratada.



Início do trabalho em 01/07/'03



Colocação das pedras.



Distribuição dos ramos.



Aspecto em 08/07/'03, após chuva (70mm).



Aspecto em 14/10/'03.



Detalhe em 14/10/'03.



Aspecto geral em 14/10/'03.

