

**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

ESTUDO DO PROCESSO SEDIMENTOLÓGICO NA BACIA EXPERIMENTAL DO  
RIBEIRÃO CONCÓRDIA – SC

HALINE DEPINÉ

Dissertação apresentada como requisito  
parcial à obtenção do grau de Mestre. Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental na  
Universidade Regional de Blumenau.

**BLUMENAU**

**2010**

**HALINE DEPINÉ**

**ESTUDO DO PROCESSO SEDIMENTOLÓGICO NA BACIA EXPERIMENTAL DO  
RIBEIRÃO CONCÓRDIA – SC**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Regional de Blumenau.

Orientador: Dr. Adilson Pinheiro  
Co-orientador: Dr. Marcos Rivail da Silva

**BLUMENAU  
2010**

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**ESTUDO DO PROCESSO SEDIMENTOLÓGICO NA BACIA EXPERIMENTAL DO  
RIBEIRÃO CONCÓRDIA – SC**

**HALINE DEPINÉ**

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Adilson Pinheiro  
ORIENTADOR – PPGEA/FURB

---

Dr. Jean Paolo Gomes Minella  
EXAMINADOR EXTERNO - UFSM

---

Dr. Alexander C. Vibrans  
EXAMINADOR INTERNO - FURB

---

Dra Rosete Pescador  
EXAMINADOR INTERNO – FURB

Blumenau, 24 de fevereiro de 2010.

*“É preciso entender que nós  
não herdamos as terras de nossos  
pais, mas as tomamos emprestadas  
de nossos filhos.”*

***Provérbio Amish***

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Irineu e Irene, as minhas irmãs, Karla e Karine, e ao meu amor Fabio, por terem compreendido a importância deste trabalho para mim; pelo carinho e incentivo em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Adilson Pinheiro, pela orientação, confiança, amizade, apoio nos momentos difíceis e pelo seu exemplo, que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental por todos os ensinamentos ao longo do curso, em especial aos Profs. Dr. Marcos Rivail da Silva e Dr. Joel Dias da Silva, pelas sugestões e esclarecimentos, e à Universidade Regional de Blumenau (FURB), pela infra-estrutura fornecida.

Aos amigos e colegas de mestrado, Ellen, Gabriel, Janara, Marian, Cassiano e Loivo, pela amizade e companheirismo durante o curso. Aos colegas Leandro, Vander, Evelyn, Petrick, Gabriela, Renata, Beatriz e Andreza, pela amizade e auxílio nos trabalhos de campo e laboratório.

Aos técnicos do Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da UNIOESTE, coordenados pelo Prof. Dr. Affonso Celso Gonçalves Jr., pela grande ajuda no processamento das amostras.

À comunidade da região de estudo, que gentilmente permitiram a instalação dos equipamentos de monitoramento da pesquisa em suas propriedades. Em especial ao Sr. Valmor e sua esposa por todo carinho e guloseimas, que tornaram o trabalho de campo bem mais doce...

A EPAGRI e a Prefeitura Municipal de Lontras pelo apoio a pesquisa.

A MCT/FINEP/CT-Hidro-CNPq pelo financiamento à pesquisa e a FAPESC pela bolsa de mestrado concedida.

Humildemente agradeço a Deus, pela vida e pelos amigos que me proporcionou encontrar.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

Universidade Regional de Blumenau, SC, Brasil

### ESTUDO DO PROCESSO SEDIMENTOLÓGICO NA BACIA EXPERIMENTAL DO RIBEIRÃO CONCÓRDIA – SC

Autor: Haline Depiné

Orientador: Prof. Dr. Adilson Pinheiro

Data e Local da Defesa: Blumenau, 24 de Fevereiro de 2010.

O movimento de solutos e material particulado das vertentes das bacias em direção aos corpos de águas superficiais, produz uma interação entre os atributos físicos e químicos dos solos e a qualidade dos sedimentos encontrados em rios, lagos e reservatórios, afetando diretamente a qualidade dos mesmos. Na bacia do ribeirão de Concórdia, situada no município de Lontras, SC, estão implantados dispositivos para monitoramento hidrológico e de sedimentos transportados em suspensão. Além disto, o vertedor provocou a deposição dos sedimentos transportados pelo escoamento fluvial, onde amostras puderam ser coletadas e analisadas quanto a suas características físicas e químicas, e um experimento de simulação de chuvas foi realizado para avaliação da produção de sedimentos em estradas rurais. Estes dados foram tratados e discutidos nesta dissertação. Analisaram-se as relações entre os atributos físicos e químicos dos solos das vertentes e a qualidade dos sedimentos encontrados na rede de drenagem das águas superficiais; quantificou-se o transporte de sedimentos em suspensão nas diferentes escalas espaciais (1 m<sup>2</sup> a cerca de 30 km<sup>2</sup>), durante 24 eventos de cheias; determinou-se as condições de desagregação de partículas pelo impacto das gotas de chuvas e pelo escoamento superficial, em que foram determinadas suas características hidráulicas (altura da lâmina de água, tensão de cisalhamento e potência do escoamento); e por fim, quantificou e qualificou-se os sedimentos depositados no leito do rio a montante do vertedor. O escoamento fluvial transporta à maiores distâncias os sedimentos finos enquanto que os sedimentos grosseiros podem ser retidos na bacia devido ao deposição. As concentrações dos elementos químicos são mais elevadas nos sedimentos do que nos solos da bacia. O elementos químicos transportados em solução ou aderidos as partículas finas durante eventos pluviosos de baixa intensidade tendem a se acumular nos sedimentos. O ponto experimental localizado mais próximo à estrada (ponto 2) é o que recebe maior carga de sedimentos, cerca de 6,20 g L<sup>-1</sup> por evento, refletindo a importância desta fonte para a produção de sedimentos na bacia,

observa-se ainda que as heterogeneidades espaciais na bacia hidrográfica influenciam fortemente as concentrações de sedimentos em suspensão encontrados no escoamento fluvial. Em condição de chuva e escoamento simulados, a carga de sedimentos transportados por arraste foi superior àquelas transportadas por suspensão nos experimentos realizados na estrada, os resultados encontrados fornecem elementos físicos importantes à modelização da erosão de solos em bacias hidrográficas. A concentração química dos sedimentos transportados por arraste e depositados a montante do vertedor se manteve estável durante os dois anos monitorados. As maiores concentrações de metais no sedimento foram de Ca e Fe. A produção específica de sedimentos foi de  $2,53 \text{ kg ha}^{-1}$ . Os resultados obtidos foram utilizados para buscar um melhor conhecimento sobre a produção, transporte e deposição de sedimentos em uma pequena bacia agrícola.

**ABSTRACT**

M. Sc. Dissertation

Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental

Universidade Regional de Blumenau, SC, Brasil

**STUDY OF SEDIMENTOLOGICAL PROCESS IN THE RIBEIRÃO CONCÓRDIA  
EXPERIMENTAL BASIN**

Author: Haline Depiné

Adviser: Prof. Dr. Adilson Pinheiro

Local and date: Blumenau, February, 24<sup>th</sup>, 2010.

The movement of solutes and particulate material component of the downhill basin toward the surface water bodies produces an interaction between the physical and chemical characteristics of soils and sediments found in rivers, lakes and reservoirs, directly affecting their quality. In the Concórdia Stream basin, located in Lontras city, SC, devices were implanted for monitoring hydrological and sediment carried in suspension. Furthermore, a simulation experiment of rain was done to evaluate the sediment yield from access roads, and the spillway caused the deposition of sediments transported by river flow. It described the physical and chemical properties of soils and sediments of the basin, quantified the transport of suspended sediments at different spatial scales (1 m<sup>2</sup> to about 30 km<sup>2</sup>), determined conditions for the breakdown of particles by the impact of drops of rain and the runoff and quantified and qualified the sediments in the riverbed upstream of the weir. It is shown that, apparently, the size of the sediment is greater than the fractions found in the soil. The chemical elements concentrations are higher in sediments than in soils of the basin. And this high concentration shows that the benthic environment may be considered to be degraded. The experimental point located closer to the road (2) is receiving the largest sediment load, about 6.20 g L<sup>-1</sup> per event, reflecting the importance of this source for the sediments production in the basin. On condition of simulated rain and runoff, the sediment load transported by drag was higher than those transported by suspension in the experiments made on the road. The chemical concentration of sediments transported by drag and deposited the amount of the weir remained stable during the two years monitored. The highest concentrations of metals in sediment were Ca and Fe. The specific sediment production was 2.53 kg ha<sup>-1</sup>. The results were used to get a better understanding of the production, transport and deposition of sediments in a small agricultural watershed.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Classificação das partículas do solo .....	26
Tabela 3.1. Massa específica aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) e porosidade (%) do solo nos pontos amostrais em diferentes profundidades .....	49
Tabela 3.2. Composição granulometria (%) dos solos na bacia do ribeirão Concórdia.....	51
Tabela 3.3. Atributos químicos dos solos da bacia do Ribeirão Concórdia .....	52
Tabela 3.4. Granulometria (%) média de sedimentos de fundo de rio, em diferentes pontos amostrais .....	53
Tabela 3.5. Composição Granulométrica Média (%) de solo e sedimento na Bacia do Ribeirão Concórdia.....	54
Tabela 3.6. Concentrações médias de nutrientes e elementos-traço nos sedimentos do rio, em cinco diferentes pontos amostrais .....	55
Tabela 3.7. Relação entre características químicas do solo e sedimento em seus pontos de contribuição.....	56
Tabela 3.8. Parâmetros para o grau de poluição de sedimentos, segundo a concentração de metais total ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).....	57
Tabela 4.1. Concentrações características na bacia do ribeirão Concórdia .....	66
Tabela 4.2. Concentrações médias ( $\text{g L}^{-1}$ ) nos quatro pontos monitorados na bacia Ribeirão Concórdia.....	67
Tabela 5.1. Características hidráulicas do escoamento nos canais (Q – vazão, A – área, P – perímetro, R – raio hidráulico, n – coeficiente de rugosidade, $\tau$ - tensão de cisalhamento, $u^*$ - velocidade de cisalhamento, $\Omega$ - potência do escoamento).....	79
Tabela 5.2. Características dos sedimentos nos ensaios de erosão em canais .....	80

Tabela 5.3. Características hidráulicas médias dos escoamentos nas simulações nas estradas, principal e de acesso.....	81
Tabela 6.1. Quantificações hidrológicas e sedimentológicas dos eventos .....	93
Tabela 6.2. Composição granulométrica, média anual, dos sedimentos grosseiros nos pontos amostrais do depósito ( $\text{g kg}^{-1}$ ).....	94
Tabela 6.3. Grau de selecionamento das amostras coletadas em 2008 e 2009.....	96
Tabela 6.4. Composição média anual dos sedimentos do depósito ( $\text{g kg}^{-1}$ ).....	97
Tabela 6.5. Caracterização petrológica anual dos sedimentos grosseiros, $\text{g kg}^{-1}$ de amostra...98	
Tabela 6.6. Concentração dos metais analisados nas amostras de sedimento .....	98

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Localização dos pontos de monitoramento na Bacia do Ribeirão Concórdia.....	36
Figura 2.2 – Mapa de Usos do Solo – Lontras, SC. Escala 1:25.000.....	37
Figura 2.3. Amostrador de nível ascendente e nível descendente instalado no ponto 1 .....	39
Figura 2.4. Amostrador de nível ascendente instalado no ponto 2 da bacia.....	40
Figura 2.5. Vertedor misto construído no ponto 3 da bacia do Ribeirão Concórdia.....	41
Figura 2.6. Lisímetro volumétrico instalado na Bacia Ribeirão Concórdia .....	42
Figura 2.7. Coletores de escoamento superficial e sub-superficial do lisímetro instalado na bacia do Ribeirão Concórdia.....	43
Figura 3.1. Mapa da bacia do Ribeirão Concórdia com seus respectivos pontos amostrais ....	47
Figura 4.1. Localização da bacia do ribeirão Concórdia em Lontras – SC e dos pontos de monitoramento .....	63
Figura 4.2. Evolução temporal das precipitações e das vazões na bacia do ribeirão Concórdia .....	64
Figura 4.3. Concentração média de sedimentos no escoamento superficial do lisímetro, por evento chuvoso.....	65
Figura 4.4. Concentração média de sedimentos na seção 2 e no lisímetro, nos mesmos eventos .....	68
Figura 5.1. Parcela experimental no leito carroçável da estrada.....	74
Figura 5.2. Simulador de chuva em parcelas: A = Vista total do equipamento; B = bico aspersor e manômetro; C = caixa coletora para medição de vazão e depósito de sedimentos. ....	75
Figura 5.3. Simulador de escoamento superficial em canal .....	76
Figura 5.4. Vazões e concentrações na estrada principal .....	82

Figura 5.5. Vazões e concentrações na estrada de acesso .....	82
Figura 6.1 – Vertedor misto na Bacia Ribeirão Concórdia .....	90
Figura 6.2 – Depósito de sedimentos formado à montante do vertedor.....	91
Figura 6.3. Curva de frequência de distribuição granulométrica média, nas três cotas amostradas no período de 2008, onde escala $\varphi$ , = - $\log_2 d$ (Krumbein, 1934).....	95
Figura 6.4. Curva de frequência de distribuição granulométrica média, nas três cotas amostradas no período de 2009, onde escala $\varphi$ , = - $\log_2 d$ (Krumbein, 1934).....	95
Figura 6.5. Granulometria dos sedimentos ( $\text{g kg}^{-1}$ ), em coleta feita no dia 20/10/2009 .....	96
Figura 6.6. Valores – guia de qualidade de sedimentos canadense ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) .....	99

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA .....	16
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.2.1 Objetivo geral.....	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
1.2.3 Estrutura da dissertação.....	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	21
2.1 INTRODUÇÃO.....	21
2.2 PROCESSOS SEDIMENTOLÓGICOS .....	22
2.2.1 Erosão.....	27
2.3 SEDIMENTOS.....	32
2.4 SOLOS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.4.1 Perfil do solo .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.4.2 Características principais do solo.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.5 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS .....	35
2.5.1 Caracterização das áreas experimentais .....	35
2.5.2 Dispositivos experimentais.....	38
2.5.3 Análises de laboratório.....	43
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	43
3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DOS SOLOS E SEDIMENTOS DA BACIA... 45	
3.1 RESUMO .....	45
3.2 INTRODUÇÃO.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.4 RESULTADOS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

3.4.1	Atributos Físicos do Solo da Bacia do Ribeirão Concórdia	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.4.2	Atributos Químicos do Solo da Bacia do Ribeirão Concórdia	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.4.3	Atributos Físicos do Sedimento da Bacia do Ribeirão Concórdia	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.4.4	Atributos Químicos do Sedimento da Bacia do Ribeirão Concórdia	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.5	DISCUSSÃO	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.7	LITERATURA CITADA	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA	59
4.1	RESUMO	59
4.2	INTRODUÇÃO	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.3	MATERIAL E MÉTODOS	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.4	RESULTADOS	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.4.1	Precipitação e Vazão	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.4.2	Concentrações de sedimentos em suspensão	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.5	CONCLUSÃO	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.6	REFERÊNCIAS	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5	PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM ESTRADAS	70
5.1	RESUMO	70
5.2	INTRODUÇÃO	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5.3	MATERIAL E MÉTODOS	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5.3.1	Dispositivos Experimentais	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5.3.2	Ensaios	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5.3.3	Hidráulica dos escoamentos	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5.3.4	Granulometria e concentração de sedimentos	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5.4.1	Simulação em canais	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5.4.2	Simulação nas parcelas	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

5.5	CONCLUSÕES.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5.6	REFERÊNCIAS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
6	SEDIMENTOS DEPOSITADOS NA BACIA .....	86
6.1	RESUMO .....	86
6.2	INTRODUÇÃO.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
6.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
6.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
6.5	CONCLUSÕES.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
6.6	REFERÊNCIAS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	101
8	REFERÊNCIAS .....	103

## 1 INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo será abordada a importância da pesquisa no contexto atual, os objetivos a serem alcançados e as principais características deste estudo.

### 1.1 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

A erosão dos solos afeta tanto as terras agrícolas como as áreas com vegetação natural intensamente explorada pelo homem. Ela pode ser considerada um dos mais importantes problemas ambientais atuais. A degradação ambiental causada pela erosão hídrica é considerada a que mais tem contribuído para a improdutividade dos solos. Tem trazido também sérios danos ao meio, como provocando assoreamento dos leitos dos rios. Ela é facilitada e acelerada pelas práticas inadequadas de manejo da bacia hidrográfica. A erosão hídrica é produzida pela ação conjunta do impacto das gotas de chuvas e pelo escoamento superficial (Silva, 2004).

A maior parte dos sedimentos transportados por um curso d'água é proveniente da erosão do solo da bacia hidrográfica (Righetto, 1998). O comportamento dos sedimentos em uma bacia agrícola é resultante das suas características naturais somadas à ação antrópica sobre a mesma. Dentro de um fluxo natural, os sedimentos transportam nutrientes fundamentais para a manutenção da flora e da fauna aquática e das margens, constituem e mantêm praias em rios, além de proporcionar o equilíbrio do fluxo sólido e líquido entre os continentes e as zonas costeiras. O problema está no tamanho da interferência deste fluxo natural de sedimentos em um curso d'água, ocasionado por ações antrópicas, podendo trazer impactos irreversíveis.

O conhecimento sobre o comportamento do solo de uma região é essencial para um planejamento de desenvolvimento agrícola e seleção apropriada de práticas de manejo para uma produção sustentada, uma vez que os danos causados pelos sedimentos dependem da quantidade e da natureza destes, as quais, por sua vez, dependem dos processos de desagregação, transporte e deposição de sedimentos. A utilização imprópria das áreas frágeis, o desflorestamento desordenado, abertura de estradas vicinais inadequadas, o preparo inadequado do solo, as queimadas, o plantio no sentido do declive do terreno, o



sobrepastoreio, a não utilização de rotação de culturas, são graves problemas que atingem muitas bacias hidrográficas e precisam ser resolvidos, diminuindo ao mínimo os impactos ambientais negativos. A proteção e a gestão corretas dos sistemas físicos fragilizados obrigam a uma reflexão profunda e à intensificação na pesquisa no campo das intervenções a que esses meios devem ser sujeitos, para o estabelecimento de novas estratégias, com vista ao desenvolvimento e à redução dos desequilíbrios.

A bacia do Ribeirão Concórdia está inserida entre as bacias da Rede MATASUL (projeto financiado pelo projeto 3690/05 “Rede de pesquisa em bacias representativas e experimentais no bioma da mata atlântica, na região sul do Brasil”, financiado pelo MCT/FINEP/CT-Hidro-CNPq e, entre as sete microbacias monitoradas pelo Projeto de Recuperação Ambiental e de Apoio ao Pequeno Produtor Rural (PRAPEM/MICROBACIAS), desenvolvido pela Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Rural de Santa Catarina. Ele tem por objetivo reduzir a pobreza no espaço rural de Santa Catarina e de melhorar a gestão dos recursos naturais. Nesta bacia foi implantando uma série de dispositivos experimentais tendo por objetivo geral coletar dados para desenvolvimento de estudo da compreensão e representação dos processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaço-temporais no bioma da Mata Atlântica, na região sul do Brasil. Assim, este projeto insere-se nos estudos de processos sedimentológicos em diferentes escalas espaciais e temporais em bacias agrícolas do bioma Mata Atlântica.

Este visa contribuir com as pesquisas e as atividades de extensão em desenvolvimento na bacia do ribeirão Concórdia. Ele procura avaliar diferentes aspectos relacionadas a erosão hídrica na bacia, em diferentes escalas espaciais e temporais.

## **1.2 PERGUNTAS DE PESQUISA**

Na bacia experimental do Ribeirão Concórdia algumas perguntas de pesquisas são colocadas:

- Em uma bacia agrícola, é possível identificar e quantificar a produção de sedimentos coletados no rio em suspensão e por arraste, em relação ao solo no qual as partículas foram desagregadas?
- Qual a composição granulométrica dos sedimentos transportados pelo sistema de drenagem principal da bacia contribuinte?
- Qual a evolução temporal das concentrações de sedimentos em suspensão quando da passagem de uma onda de cheia?

- Quais as cargas de sedimentos transportados, nas escalas de lisímetro a escalas espaciais de bacias, para diferentes intervalos de tempos?

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo o estudo dos processos hidrossedimentométricos de uma bacia agrícola visando obter informações que permitam compreender e representar os processos envolvidos em diferentes escalas espaço-temporais.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar a evolução espacial e temporal das concentrações e das cargas de sedimentos transportados pelo sistema de drenagem fluvial;
- Caracterizar qualitativamente e quantitativamente os sedimentos coletados quanto a sua origem a partir do uso do solo, composição física e química;
- Avaliar como o manejo do solo, em diferentes escalas e em diferentes épocas do ano, influencia a produção de sedimentos em diferentes pontos da bacia;
- Conhecer a composição granulométrica dos sedimentos transportados pelo sistema de drenagem da bacia.

#### **1.3.3 Estrutura da dissertação**

Esta dissertação compreende oito capítulos, onde:

No Capítulo 1 é feita uma INTRODUÇÃO sintetizando o problema da produção e transporte de sedimentos e a importância da sua caracterização para manutenção das bacias hidrográficas. Neste capítulo também são definidos os principais objetivos deste trabalho.

No Capítulo 2 a FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA detalha os processos envolvidos na produção, transporte e deposição de sedimentos e as experiências realizadas neste âmbito.

Os capítulos 3 a 6 foram escritos na forma de artigos científicos. Foram identificados como títulos de capítulos.

No Capítulo 3 é feita a CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS SOLOS E SEDIMENTOS DA BACIA, determinando atributos químicos e físicos dos solos e a qualidade dos sedimentos que produzem uma interação com os corpos d'água. O artigo terá o título de Atributos físicos e químicos do solo e suas relações com a qualidade dos sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia, SC, com co-autorias de Adilson Pinheiro, Marcos Rivail da Silva, Affonso Celso Gonçalves Jr, Gilmar Divino Gomes & Leandro Mazzuco de Aguida.

O Capítulo 4 engloba um estudo sobre TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA, avaliando o efeito da mudança de escalas espaciais na produção de sedimentos em suspensão na bacia. O artigo terá o título de Produção de sedimentos em suspensão em áreas agrícolas em diferentes escalas espaciais, com co-autorias de Adilson Pinheiro, Vander Kaufmann & Marcos Rivail da Silva.

A PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM ESTRADAS foi demonstrada no Capítulo 5, através de experimentos em parcelas sob condição de chuva simulada com diferentes intensidades. O artigo terá o título de Estimativa da produção de sedimentos em estradas rurais sob condição de chuva e escoamento simulados, com co-autorias de Adilson Pinheiro, Vander Kaufmann, Leandro Mazzuco de Aguida, & Nilza Maria dos Reis Castro.

O Capítulo 6, SEDIMENTOS DEPOSITADOS NA BACIA, descreve qualitativa e quantitativamente os sedimentos transportados por arraste em um ponto amostral da bacia em estudo. O artigo terá o título de Caracterização dos sedimentos depositados no rio de uma bacia agrícola na vertente atlântica de Santa Catarina, com co-autorias de Adilson Pinheiro, Vander Kaufmann, Marcos Rivail da Silva, Affonso Celso Gonçalves Jr & Gilmar Divino Gomes.

No Capítulo 7, CONCLUSÕES, apresentam-se conclusões sobre os estudos de transporte e deposição de sedimentos por suspensão e arraste, bem como sua caracterização.

As publicações consultadas para a execução deste trabalho estão relacionadas no Capítulo 8, REFERÊNCIAS.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

A ação do homem sobre a bacia hidrográfica, feita de maneira desordenada, como a retirada de cobertura vegetal, agricultura intensiva sem manejo de conservação, aberturas irregulares de estradas, faz com que o processo de desagregação e transporte de sedimentos se acelere, causando danos a formação original da bacia, alterando seu regime hidrológico e sedimentológico.

Durante as várias fases desse processo têm-se prejuízos ambientais, desde a erosão do solo, ocorrida na fase de produção dos sedimentos, o comprometimento na qualidade da água, observado na fase do transporte, além do assoreamento dos rios e reservatórios que ocorrem na fase de sedimentação (Paiva, 2001).

O estudo hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica, além de ser uma importante ferramenta de apoio para análises sobre o estado de degradação de uma bacia, é fundamental para o planejamento do aproveitamento dos recursos hídricos de uma região (Siviero & Coiado, 1999).

A microbacia do Ribeirão Concórdia, está inserida entre as sete bacias monitoradas pelo Projeto de Recuperação Ambiental e de Apoio ao Pequeno Produtor Rural ((PRAPEM/MICROBACIAS). Possui uma área de drenagem de 30,74 m<sup>2</sup>, no município de Lontras – SC. A bacia é em sua totalidade, agrícola, composta por pequenos produtores rurais, que sobrevivem da agricultura familiar, sem fazer uso de práticas conservacionistas.

O estudo sedimentológico proposto visa conhecer as características de produção de sedimentos em uma bacia agrícola, por meio do monitoramento nas estações fluviométricas existentes na bacia, através de medições a campo e análises de laboratório, com diferentes equipamentos.

## **2.2 SOLOS**

O solo representa uma tênue camada superficial da crosta terrestre e possui uma complexa estrutura composta de partículas de rochas em diferentes estágios de intemperismo, água, substâncias químicas em dissolução, gases, microorganismos e matéria orgânica em diferentes fases de decomposição (Bertoni & Lombardi Neto, 1993).

O solo é considerado um agente passivo do processo erosivo, pois concomitante com a formação do solo ocorre a remoção de suas partículas pela atuação de forças exógenas, principalmente pela ação da água e do vento.

O processo erosivo é influenciado de uma maneira ou outra, pelos fatores de formação dos solos, como: clima, material de origem, relevo, seres vivos e tempo. Além dos fatores de formação dos solos, as propriedades químicas e físicas, resultantes da atuação desses fatores, também influenciam os processos erosivos (Guerra & Botelho, 1996).

### **2.2.1 Fatores de formação do solo**

#### **2.2.1.1 Material de origem**

O material de origem representa o estado inicial do sistema, que pode ser uma rocha consolidada, um depósito inconsolidado ou ainda um solo preexistente, constituindo-se em elemento passivo na formação dos solos, sobre o qual atuarão outros fatores que o transformarão. Através da sua decomposição e desintegração, a rocha matriz fornece matéria-prima para a formação dos solos, assumindo um importante papel na determinação de suas propriedades. As características das rochas que influenciam mais diretamente na gênese dos solos são: composição mineralógica, resistência mecânica e textura. Dependendo das suas características, do clima e do tempo transcorrido, o material terá influência maior ou menor nas características do solo, notadamente, cor, textura, estrutura, mineralogia e índice de acidez (Guerra & Botelho, 1996).

#### **2.2.1.2 Clima**

O clima participa na formação do solo, na medida em que, através da energia solar, da umidade e, principalmente, da precipitação, controla o tipo e a intensidade dos processos formadores. É considerado fator ativo, que age sobre o material de origem consolidado ou não, o relevo, a vegetação e os organismos. É possível reconhecer propriedades dos solos e processos formadores que apresentam tendências regionais, de acordo com a variedade climática.

### **2.2.1.3 Relevo**

O relevo é o fator de formação que controla a redistribuição de massa e energia, tornando possível diferenciar na paisagem superfícies de erosão, de deposição e, ainda, superfícies que resultam da ação combinada de tais processos. Em função do ambiente geomorfológico em que o solo se desenvolve, este adquire características que resultam de processos predominantes em cada ambiente, seja ele de acúmulo ou de transporte, de maior ou menor umidade, ou de maior ou menor incidência solar. A inclinação, comprimento, orientação das encostas e posição topográfica são as características de relevo que influenciam diretamente na formação de perfil do solo.

### **2.2.1.4 Organismos**

A formação do solo é resultado da ação combinada de fatores abióticos e bióticos. Os fatores bióticos referem-se aos seres vivos, representados pelos animais, vegetais e microorganismos. A atividade da fauna no solo é intensa e variada. Ela pode atuar em superfície e em profundidade, triturando e misturando materiais do solo, o que contribui para sua estruturação, permeabilidade e aeração, sendo capaz de destruir horizontes (Guerra & Botelho, 1996). A vegetação possui papel direto como fator de formação do solo, através de sua intervenção no processo de intemperização, fragmentando a rocha, em função do crescimento das raízes, através da ação colonizadora dos líquens e do aporte de matéria orgânica ao solo. A vegetação atua também como filtro protetor para a radiação solar e a chuva, regulando a temperatura, a umidade e a evaporação, e evitando o “splash”,

salpicamento do solo, através da interceptação das gotas de chuva, diminui o escoamento superficial, pelo aumento da infiltração e serve como barreira natural contra a ação erosiva dos ventos.

#### **2.2.1.5 Tempo**

Baseando-se em critérios morfológicos, o solo pode ser considerado jovem ou imaturo, quando apresenta pouca espessura e desenvolvimento escasso, ou mais evoluído ou maduro, quando os horizontes são mais desenvolvidos. Ter um solo maduro, não significa atingir o estágio final do sistema, pois mudanças nos fatores formadores podem causar alterações no perfil já evoluído, iniciando um novo processo de formação.

### **2.2.2 Características principais do solo**

Os solos possuem propriedades químicas e físicas, que interagem e podem proporcionar maior ou menor resistência aos processos erosivos. O conhecimento das características do solo que podem influenciar o processo erosivo é de grande importância na orientação dos trabalhos de manejo do solo e controle da erosão (Bramoski, 2007).

#### **2.2.2.1 Propriedades químicas**

Dentre as propriedades químicas que mais afetam a erodibilidade do solo, destaca-se o carbono orgânico. Os estudos dos solos, sob a perspectiva geomorfológica, levam em conta na maioria das vezes, os teores de carbono orgânico e o pH, que juntamente com as outras propriedades químicas, também interferem sobre os atributos físicos dos solos, como o teor e estabilidade de agregados, porosidade, densidade aparente, etc. Há uma correlação inversa entre o fator que estima a erodibilidade dos solos e o teor de carbono orgânico, em especial quando se excluem os solos de textura argilosa pesada (Guerra & Botelho, 1996). O carbono orgânico tem a capacidade de formar agregados estáveis e, conseqüentemente uma maior resistência ao impacto das gotas de chuva. Solos ácidos (deficientes em cálcio) podem



apresentar maior erodibilidade. O cálcio é um elemento que contribui na retenção de carbono, formando agregados, sua falta pode prejudicar a estruturação dos solos.

#### **2.2.2.2 Propriedades físicas**

Destacam-se: teor de areia, silte e argila, densidade real e aparente, porosidade, e teor e estabilidade dos agregados.

Segundo Guerra & Botelho (1996), os teores de areia, silte e argila atuam sobre a erosão, á medida que podem oferecer maior ou menor resistência ao destacamento e ao próprio transporte pela água resultante do escoamento superficial, difuso ou concentrado. A areia fina e o silte são as frações granulométricas que apresentam maior facilidade de serem erodidas, pois não possuem muita coesão, nem peso suficiente que dificulte a ação da água. A areia grossa e a argila são as frações granulométricas que oferecem maior resistência a erosão. As areias devido ao seu diâmetro apresentam um peso maior que dificulta a ação da água, enquanto as argilas, devido a sua coesão, em especial quando combinadas com matéria orgânica, formam agregados estáveis, que também oferecem resistência à ação da água. Raramente um solo é constituído de uma só fração granulométrica, daí a necessidade de classes de textura procurando definir diferentes combinações de areia, silte e argila. A Tabela 2.1 apresenta a classificação das partículas em função de seu tamanho.

As densidades, real e aparente dos solos influenciam de forma significativa a sua erodibilidade e afeta outras propriedades, como a porosidade. Segundo Guerra & Botelho (1996) alguns solos apresentam minerais que possuem densidades maiores, chamados minerais pesados. Esses minerais oferecem maior resistência aos agentes erosivos, pois mesmo sendo pequenos, apresentam maior peso, e conseqüentemente dificultam a ação da água e do vento. A densidade aparente controla a ação dos processos erosivos, porque está relacionada à maior ou menor compactação dos solos, ou seja, quanto maior a densidade aparente, maior a dificuldade de infiltração de água no solo. A medida que aumenta a densidade aparente, diminui-se a porosidade, dificultando a infiltração da água nos solos.

O teor e a estabilidade dos agregados dependem de uma série de fatores e afetam diretamente os processos erosivos. O teor refere-se à quantidade de agregados em relação aos outros constituintes dos solos. No que se refere à estabilidade, esta é influenciada pelas argilas e pelo teor de matéria orgânica do solo. A estabilidade é dada pela resistência que alguns

agregados possuem tanto à ação da água, diretamente através do “splash”, como pela água que se infiltra e encharca os solos.

**Tabela 2.1. Classificação das partículas do solo**

Nome	Intervalo de tamanho das partículas (mm)
Cascalho muito grosso	64,00-32,00
Cascalho grosso	32,00-16,00
Cascalho médio	16,00-8,00
Cascalho fino	8,00-4,00
Cascalho muito fino	4,00-2,00
Areia muito grossa	2,00-1,00
Areia grossa	1,00-0,50
Areia média	0,50-0,25
Areia fina	0,250-0,125
Areia muito fina	0,1250-0,0625
Silte grosso	0,0625-0,0310
Silte médio	0,0310-0,0160
Silte fino	0,0160-0,0080
Silte muito fino	0,0080-0,0040
Argila grossa	0,0040-0,0020
Argila média	0,0020-0,0010
Argila fina	0,0010-0,0005
Argila muito fina	0,0005-0,00024

Fonte: Carvalho, 2000

As principais ameaças sobre o solo são a erosão, a mineralização da matéria orgânica, redução da biodiversidade, a contaminação, a impermeabilização, a compactação, a salinização, o efeito degradante das cheias e dos desabamentos de terras. A nível mundial, a erosão é a principal ameaça ambiental para a sustentabilidade e capacidade produtiva do solo e da agricultura convencional.

### 2.3 PROCESSOS SEDIMENTOLÓGICOS

Segundo Moldan & Cerny (1994) a microbacia pode ser considerada como a menor unidade da paisagem capaz de integrar todos os componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água como: atmosfera, vegetação natural, plantas cultivadas, solos, rochas subjacentes, corpos d'água e paisagem circundante. Para Jenkins et al. (1994), a bacia

hidrográfica é a unidade ecossistêmica e morfológica que melhor reflete os impactos das interferências antrópicas, tais como a ocupação das terras com as atividades agrícolas.

A exploração inadequada dos recursos naturais de forma cada vez mais desordenada, através de atividades de desmatamentos, práticas agrícolas incorretas, atividades extrativistas agressivas, a construção indiscriminada de estradas, o lançamento de esgotos industriais e domésticos nos rios e lagos, têm promovido inúmeros problemas ambientais nas bacias hidrográficas. Segundo Pinto et al. (2004) se faz necessário o estudo das interações dos recursos e das ações antrópicas na bacia hidrográfica, para a manutenção das mesmas.

Uma das principais conseqüências da degradação das bacias é a erosão dos solos, a qual consiste nos processos de desagregação e transporte das partículas do solo, causados pela ação da água e do vento. Segundo Simões et al. (2001) a erosão é um conjunto de processos de desgaste de solos e rochas. Erosão, transporte e deposição de sedimentos são responsáveis pela modelação da Terra. Quando esta erosão é natural, estes processos geológicos encontram-se em condição de equilíbrio. A partir do momento em que o equilíbrio é rompido, com taxas muito altas de erosão, ocorre a erosão acelerada. O homem tem sido o principal agente responsável pela erosão acelerada, seja pelo uso de práticas agrícolas inadequadas, seja pela implantação de obras sem considerar as características do solo.

O processo de transferência de sedimentos do sistema terrestre para o aquático decorre da utilização do solo fora de sua capacidade de suportar as atividades agrícolas, como cultivo de solos rasos e declivosos, má distribuição das áreas de cultivo dentro do cenário em que estão incluídas, alocação de estradas e caminhos que favorecem o transporte de sedimento e revolvimento e falta de cobertura sobre o solo (Schenato, 2009).

### **2.3.1 Erosão**

Segundo Carvalho (2008) a sedimentação provém da erosão. Os processos sedimentológicos que ocorrem nos sistemas fluviais resultam da interação de diversos mecanismos, fundamentalmente associados à ocorrência e movimento da água superficial. Estes processos correspondem ao encadeamento e sucessão temporal de mecanismos de desagregação, transporte e deposição de sedimentos no qual o principal agente nos fluxos energéticos e de transferência de quantidade de movimento é a água. Estes processos têm estado ativos através do tempo geológico e colaboraram para conformação do relevo atual. Ocorre que, atualmente, os processos erosivos apresentam-se desproporcionais ao que vinha

sendo considerado natural. Em decorrência disso, os processos de sedimentação têm gerado sérios problemas ambientais e de engenharia. O transporte de sedimentos pela água é regido pela relação entre a capacidade de transporte do escoamento e a força necessária para deslocar as partículas sólidas disponíveis em seu curso. As partículas mais finas e leves, como as argilas e siltes, precisam de menos energia que as partículas de areia para serem transportadas. Escoamentos muito velozes e turbulentos possuem grande capacidade de transporte de sedimentos, sendo pouco seletivos, ou seja, deslocam sedimentos finos e grossos. À medida que a velocidade do escoamento diminui, o transporte de sedimentos se torna mais seletivo; assim, os processos de desagregação, transporte e deposição de sedimentos são dependentes da granulometria do material particulado presente na bacia.

### **2.3.1.1 Erosão hídrica**

Entende-se por erosão a desagregação e o transporte de material - os sedimentos - com origem nos solos e rochas da litosfera, para além de uma dada fronteira. Dentre as formas de erosão, a hídrica é, sobre grande parte do nosso planeta, a mais importante forma de erosão (Zachar, 1982). A principal causa da erosão é a ação da chuva sobre o solo e a intensidade de erosão depende de fatores relativos à geometria do espaço fluvial, aos usos e ocupação do território e a práticas agrícolas. Além de ser um dos responsáveis pela degradação dos corpos hídricos, o processo erosivo pode causar sérios danos locais nas terras agrícolas pela redução da fertilidade e produtividade dos solos (Bertonni & Lombardi Neto, 1993). A intensa mobilização e revolvimento do solo, além de facilitar o trabalho erosivo, tende a reduzir seu potencial produtivo por manter pouca quantidade de resíduos na superfície e acelerar sua decomposição, diminuir a atividade biológica e compactar e destruir a estrutura superficial do solo (Wolman, 1985).

O processo erosivo consiste de três eventos seqüenciais caracterizados pela desagregação, transporte e deposição das partículas do solo (Righetto, 1998). Segundo Silva (2004) o salpicamento é o primeiro estágio de um processo erosivo superficial. O salpicamento é causado pela incidência direta da gota de chuva sobre o solo, causando a selagem superficial e o destacamento de partículas do solo que ficam em predisposição para serem transportadas e sedimentadas em outras regiões. No momento em que cada gota de chuva incide sobre a superfície do solo, ela provoca o salpicamento, dando início ao processo

erosivo. A desagregação é definida como sendo a liberação de partículas dos agregados e, uma vez desprendidas elas podem permanecer próximas ao agregado ou serem transportadas (Carvalho et al., 2001). A desagregação das partículas ocorre pelo efeito da energia do impacto das gotas d'água e da força cisalhante do escoamento superficial constituindo, assim, o estágio inicial e mais importante do processo da erosão hídrica. O transporte das partículas desagregadas é realizado, quase exclusivamente, pelo fluxo laminar raso, o qual é auxiliado em muito pela turbulência produzida pelo impacto das gotas de chuva, suspendendo e mantendo suspensas as partículas de solo (Cassol & Lima 2003).

Na sequência, havendo continuidade da chuva, começam a se formar poças de acumulação de água. Guerra (1999) afirma que a formação de poças na superfície do solo é o estágio que antecede a formação do escoamento superficial. Quando as poças transbordam e se unem, passam a formar o escoamento superficial difuso. Ainda segundo o mesmo autor, o processo erosivo se inicia quando as poças têm seu limite de rompimento extrapolado, de modo que elas se unem e passam a escoar em lamina. Este escoamento transporta as partículas de solo destacadas durante a ação de salpicamento. Ainda, durante a sua ocorrência, ele é capaz de destacar mais partículas do solo e transportá-las para os locais de sedimentação ou para os corpos d'água.

Baccaro (1999) destaca a importância do ciclo hidrológico para a ocorrência dos processos erosivos. O comportamento hidrológico de um local depende basicamente de fatores como: relevo, clima, cobertura vegetal, tipo de solo, etc. E três processos principais são governados por estes fatores, precipitação, infiltração de água no solo e escoamento superficial. O solo possui características diferentes que influenciam no processo de infiltração. Brandão et al. (2003) afirmam que a textura e a estrutura influenciam diretamente na infiltração, porque determinam a forma, quantidade e continuidade dos poros do solo. Solos que possuem predominantemente areia grossa na sua formação terão uma condutividade hidráulica e uma infiltração melhor do que aqueles que têm uma predominância de partículas finas como silte e argila. A presença ou não de cobertura vegetal também influencia na ocorrência da infiltração. Os mesmos autores afirmam ainda que a taxa de infiltração de água no solo contribui diretamente na formação e aceleração dos processos erosivos. Se a infiltração ocorrer mais rapidamente, haverá uma menor quantidade de água na superfície do solo para formar o escoamento superficial, diminuindo o número de eventos erosivos ocasionados por estes escoamentos.

Cunha & Guerra (1999) definem o último estágio na formação do escoamento superficial, como *micro-hills*, ou desenvolvimento de microravinas (microcanais), onde a

água escoar por fluxo linear, formando sulcos bem definidos. O estágio seguinte é a formação de microcanais com cabeceiras (*headcuts*), onde essas cabeceiras tendem a passar por um pico de produção de sedimentos, resultantes da erosão ocorrida dentro dos canais. À medida que as cabeceiras recuam em direção às partes mais elevadas das encostas, o canal se torna mais largo e mais profundo tendo condições de transportar os sedimentos que chegam a esses canais, à medida que se desenvolvem a partir de outras cabeceiras. Uma vez estabelecidos em uma encosta, os canais tendem a evoluir através de pontos de ruptura ou bifurcações. Esta fase está frequentemente associada a um rápido aumento na concentração de sedimentos transportados pelo *runoff*. A expansão dos canais a partir do escoamento pode levar a formação de voçorocas. E neste estágio o solo já sofreu grandes perdas em relação à fertilidade e estruturação.

O transporte de sedimentos ou a capacidade do escoamento em transportar sedimentos envolve a análise de hidrodinâmica do escoamento e a caracterização e a quantificação das distribuições de velocidade e de tensões de arraste no corpo d'água (Righetto, 1998). O transporte do sedimento a partir do escoamento se dá por arraste, rolamento e suspensão. A carga sólida de arraste ou deslizamento são as partículas de sedimentos que escorregam sobre o leito dos cursos d'água. A carga sólida de rolamento são as partículas que pulam devido à colisão umas nas outras e sob o efeito da corrente de água. A carga sólida em suspensão são as partículas de sedimentos capazes de se manter em suspensão pelo fluxo turbulento devido ao seu peso reduzido.

O transporte de sedimentos em suspensão atua como portador de poluentes, bactérias e vírus, acarreta também aumento no custo de tratamento da água para consumo, aumento da turbidez na água, redução da penetração de raios de luz na água, impedindo a fotossíntese. O transporte de sedimento do leito pode diminuir as profundidades dos canais, prejudicando a navegação e provocando enchentes, provoca abrasão em máquinas, obras hidráulicas, árvores e outros quando de sua passagem.

Christofolletti (1980) cita que a carga do leito do canal é composta por partículas de granulometria maior, como areia, cascalho e matacão, os quais são transportados através de saltação, deslizamento ou rolamento na superfície do leito. A velocidade desta carga é bastante lenta devido ao tamanho das partículas. A quantidade e o tamanho do material transportado no fundo do canal, segundo Christofolletti (1980), dependem da capacidade e competência. Ou seja, a maior quantidade de detritos de determinado tamanho que o fluxo consegue transportar, enquanto que o maior diâmetro encontrado entre os detritos é referente à sua competência. Partículas de granulometria reduzida, como silte e argila, são transportadas

em suspensão, pois são tão pequenas que se conservam em suspensão no fluxo de água, sempre tendo uma velocidade maior que as partículas do material de leito.

De acordo com Carvalho (2008), em se tratando do transporte de sedimentos no rio, a carga em suspensão é predominantemente maior que a do fundo, correspondendo a 90 – 95%, no alto curso, à medida que a declividade do rio vai diminuindo, a carga de fundo vai crescendo, totalizando 65 – 90% de sedimentos em suspensão. Já a concentração de sedimentos ao longo da seção transversal varia em função da velocidade do fluxo, da disponibilidade de sedimentos e da sua granulometria.

Quando o aporte de sedimentos excede a capacidade de transporte, há a deposição deste material em locais relativamente mais baixos, que podem ser depressões naturais do terreno ou reservatórios de água como rios, lagos, açudes ou represas, concluindo assim o processo erosivo (Branco, 1998).

Segundo Carvalho (2008) as deposições de sedimentos dentro de uma bacia hidrográfica podem ser divididas em depósitos de delta, com sedimentos mais grossos, depósito de margem e depósito de leito, com sedimentos mais finos. Os depósitos de delta reduzem a capacidade útil do reservatório e os depósitos de leito reduzem o volume morto.

Sedimentos que se depositam pela influência do reservatório se estendem para montante e para jusante, não se distribuindo uniformemente mesmo dentro do lago. A deposição de montante se denomina depósito de remanso (Backwater deposit), em referência ao fenômeno hidráulico, sendo também remontante à medida que aumentam os depósitos nestas áreas. As deposições dentro do reservatório são chamadas de delta (delta), depósito de margem e depósito de leito. O delta se forma com sedimentos grossos, enquanto que os depósitos do interior, com sedimentos mais finos. As enchentes produzem outro tipo de deposição, ocorrendo ao longo do curso d'água e do reservatório, formada por sedimentos mais finos e grossos e que é denominado depósito de várzea ou depósito de planície de inundação (Carvalho, 2000).

O depósito de sedimentos pode reduzir a vida útil de um reservatório, provocar enchentes, assorear canais prejudicando assim, a navegação, a irrigação, a dessedentação de animais, a flora e a fauna locais e o lazer.

Alam (2007) concluiu em trabalho realizado no Rio Madeira que embora com baixas vazões (menos que  $18.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ), o movimento de areias grossas não é generalizado, a partir de  $39.100 \text{ m}^3/\text{s}$ , entretanto, todas as areias são transportadas em suspensão e cascalhos finos são movidos em saltação ao longo de todo o comprimento do reservatório a fio d'água. A

maioria do material transportado em suspensão apresenta cerca de 1 mm de diâmetro, e o tamanho médio do material transportado em saltação varia de 2 a 3 mm em média.

## 2.4 SEDIMENTOS

Os sedimentos podem ser definidos como uma coleção de partículas minerais e orgânicas encontradas no fundo do rio, formando importante componente do ecossistema aquático (Cunha et al., 2006). O sedimento de ecossistemas aquáticos é formado por uma grande variedade de materiais orgânicos e inorgânicos de origem autóctone e alóctone, sendo o substrato responsável pela disponibilidade de habitats e microhabitats, alimentos e proteção, exercendo um papel importante na estruturação das comunidades de macroinvertebrados.

Além de fornecerem substrato para uma grande variedade de organismos, eles funcionam como um reservatório dos inúmeros contaminantes de baixa solubilidade, desempenhando importante papel nos processos de assimilação, transporte e deposição desses contaminantes. A presença em excesso de sedimentos em um corpo d'água afeta direta e indiretamente a qualidade de vida e biodiversidade no ambiente hídrico, como por exemplo, alterando a temperatura e luminosidade do meio e sufocando ovos de peixes depositados no fundo dos rios (Carvalho et al., 2001). Dessa forma, os sedimentos constituem-se em fontes de contaminação primária para os organismos bentônicos, e contaminação secundária para a coluna de água. Em relação ao uso do recurso pelo homem, o excesso de sedimentos pode conferir cor e odor na água de abastecimento, acelerar o assoreamento de reservatórios e bloquear estruturas de tomada d'água.

No sedimento podem estar adsorvidos diversos tipos de poluentes, como fósforo, nitrogênio, orgânicos tóxicos, metais pesados, entre outros, o que pode ser verificado em estudos de monitoramento de qualidade de água (Carvalho et al., 2001). Um dos meios para se avaliar o grau de impacto por causado por ações antropogênicas ou naturais em uma área é a determinação da concentração de elementos químicos, principalmente metais pesados, adsorvidos nos sedimentos (Soares et al., 2004). Segundo Soares (2004), Förstner & Salomons (1980), Förstner & Wittman (1981) e Ratha & Sahu (1993) a análise de metais pesados deve ser obtida nas frações granulométricas mais finas dos sedimentos. Isto porque se observa uma maior afinidade dos metais com estas frações e, conseqüentemente, constituem-se em bons indicadores do grau de poluição dos sedimentos. Segundo Fonseca et al. (1998), a composição granulométrica exerce papel importante na estrutura das comunidades de



macroinvertebrados bentônicos, bem como na determinação de possíveis alterações antrópicas responsáveis pelo assoreamento e modificações na natureza física dos sedimentos aquáticos.

O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios é formado por uma mistura de sedimentos provenientes de diferentes fontes, cuja identificação permite avaliar as implicações das práticas conservacionistas sobre a erosão hídrica (Minella et al., 2007). As fontes de sedimentos podem ser determinadas em função de características químicas e físicas dos solos e dos elementos que são utilizados como propriedades traçadoras (Walling & Woodward, 1992). A análise das dimensões das partículas é importante, pois permite deduzir indicações preciosas, entre outras, sobre a proveniência (designadamente sobre a disponibilidade de determinados tipos de partículas e sobre as rochas que lhes deram origem), sobre o transporte, e sobre os ambientes deposicionais.

Collins e Walling (2002) apresentaram um estudo que sugere que a combinação de alguns metais extraíveis e ácido, cátions base e constituintes orgânicos fornecem uma base eficaz para estabelecer traçadores discriminadores da fonte do sedimento.

Segundo EPA (1996), a análise química das amostras pode ser feita pela extração por digestão ácida, que determina os teores totais de P, K, Ca, Na, Mg, Cu, Pb, Cr, Co, Zn, Ni, Fe, Mn e Al.

Em estudo realizado em dois municípios do Rio Grande do Sul, Minella *et al.* (2007), identificaram as principais fontes de sedimentos em bacias utilizando a comparação entre os solos de diferentes fontes (lavouras, estradas e rede fluvial) e os sedimentos em suspensão, através de traçadores naturais. Utilizou análise estatística para selecionar o melhor conjunto de características químicas que apresentassem capacidade discriminante entre as fontes. Neste estudo, os autores verificaram que os sedimentos transportados em suspensão apresentavam como fonte de origem a erosão proveniente de área agrícola (68,3 e 55,5 %), erosão nas estradas (28,1 e 37,6 %) e erosão na rede fluvial (3,6 e 6,9 %). Afirmam que alguns elementos químicos podem ser utilizados para discriminar locais de proveniência de sedimentos refletidas nas práticas agrícolas da bacia.

Russell et al. (2001) desenvolveram um trabalho de identificação de sedimentos em duas bacias através da comparação de solos das principais fontes e amostras de sedimentos em suspensão. Como parâmetro, utilizaram fontes de erosão de superfície (uso da terra), erosão na rede fluvial e nos canais de drenos (fontes sub-superficiais), obtendo como resultado 34 e 65 %, menos de 10 % e 27 e 55 % respectivamente.

No trabalho de Walling et al. (1993) os níveis de carbono orgânico e do nitrogênio foram selecionados como traços de identificação pois demonstraram que podem fornecer

indicadores úteis da proveniência do sedimento. É conhecido que o índice de matéria orgânica de solos aráveis é na maioria das vezes substancialmente mais baixo do que aquele de locais de pastagem, e somente as pequenas quantidades de material orgânico são encontradas relativamente em sedimentos de erosão pluvial (canais).

Alguns metais pesados também são bons representativos para as fontes de sedimentos. Os metais pesados permitem a diferenciação de sedimentos provenientes de estradas e de lavouras, já que alguns estão relacionados a combustíveis, óleos e graxas presentes nos veículos, e alguns metais são utilizados na fabricação de agroquímicos. A contaminação por Cu pode ter origem nos esgotos domésticos e industriais ou por lixiviação de produtos agrícolas através das chuvas (Corbi et al., 2006). O Cd (cádmio) é um metal pesado que ocorre na natureza geralmente associado a outros metais como o zinco e o chumbo, e sua extração, produção e aplicação na indústria e na agricultura vem aumentando nos últimos anos, podendo relacionar sua existência à áreas agrícolas (Corbi et al., 2006).

Garcia-Ruiz et al. (2008), estudaram como a cobertura do solo influencia a geração de escoamento e a variabilidade espacial e temporal no transporte de sedimentos. Para tanto, observou diferentes áreas (mata fechada, agricultura intensiva e terras não férteis). O maior coeficiente de escoamento encontrado foi em terras não férteis (69%), seguido da área com agricultura intensiva abandonada (25%) e por último a área com florestas (12%). Uma das observações foi a de que o solo sem cobertura vegetal fica mais exposto ao escoamento, produzindo maior quantidade de sedimento. Ainda sugerem que o transporte por arraste na área de agricultura intensiva tem grande importância, devido ao seu volume ocasionavam inundações repentinas naquela bacia.

Pellegrini (2006) afirma em seu estudo que a distribuição das áreas de plantio dentro das propriedades agrícolas influencia a produção de sedimentos na bacia.

Pellegrini (2005) desenvolveu um estudo da dinâmica do fósforo em sedimentos oriundos de diferentes condições de uso de solo e observou que em sedimentos coletados em áreas menos antropizadas apresentam menores teores de fósforo biodisponível e maior taxa de dessorção de fósforo, enquanto que os sedimentos erodidos de áreas com maior contribuição de lavouras apresentaram maior quantidade de fósforo total e maior capacidade de ligação, estando relacionado aos teores de óxidos de ferro dos sedimentos.

Os sedimentos que chegam ao curso d'água têm diversas granulometrias e sofrerão um processo de transporte diferenciado, de acordo com as condições do local e do escoamento (Carvalho, 2008).

No sentido longitudinal do curso d'água, observa-se geralmente uma maior produção de sedimentos na parte alta da bacia, com maior erosão e transporte de sedimentos, sendo esses de granulometria maior, e observa-se que no sentido de jusante esses materiais vão se fracionando, tornando-se sedimentos de granulometria cada vez menor, aumentando a tendência de deposição do material transportado (Carvalho, 2008). A partícula em suspensão está sujeita à ação da velocidade da corrente na horizontal e da turbulência, que tendem mantê-la em suspensão, e de seu peso, que tendem a deslocá-la para baixo. Assim, partículas maiores têm uma distribuição concentrada na vertical que aumenta da superfície para o leito, e os sedimentos menores apresentam uma distribuição uniforme ao longo da corrente vertical.

Segundo Xu (2002), durante a estação seca, a maior parte do sedimento em suspensão no rio provém da erosão no canal, gerando sedimentos com maior granulometria. Na estação chuvosa a erosão do solo das encostas causada pelo escoamento superficial gera um sedimento relativamente mais fino que é transportado até as calhas dos rios.

## **2.5 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS**

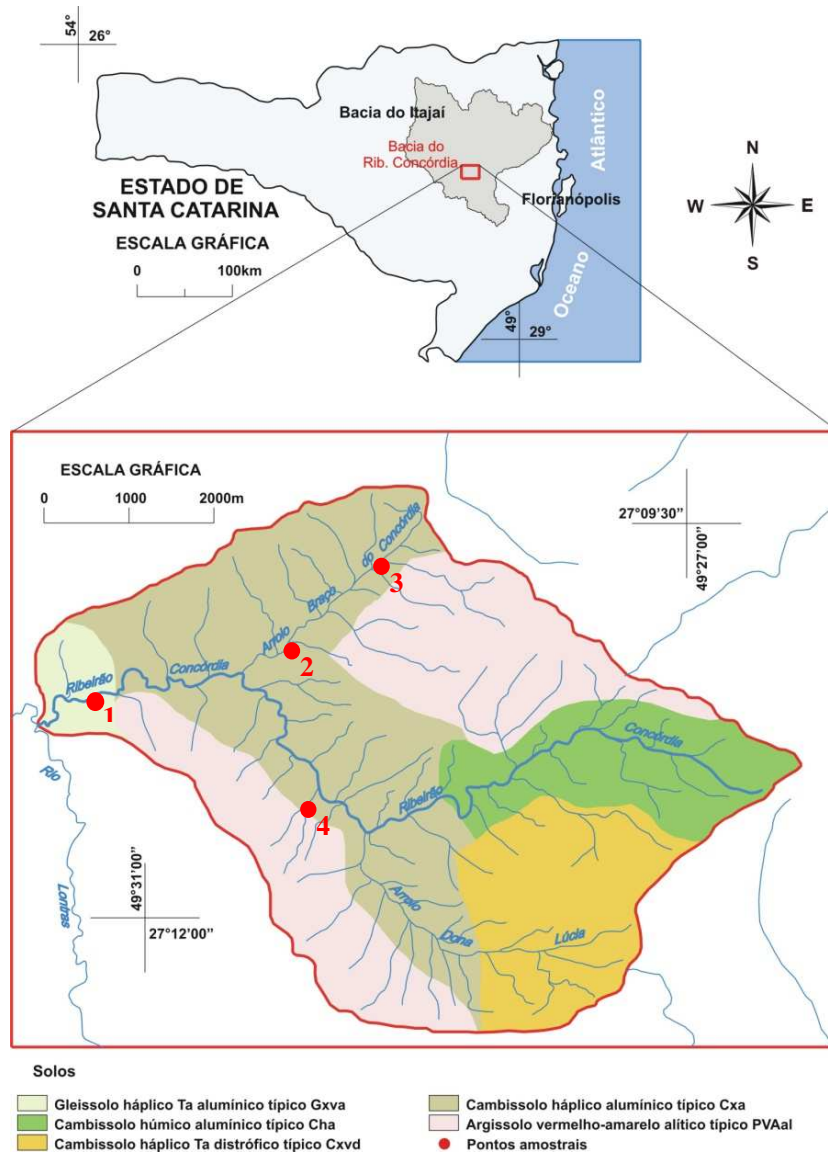
A bacia do Ribeirão Concórdia está inserida entre as bacias da Rede MATASUL e, entre as sete microbacias monitoradas pelo Projeto de Recuperação Ambiental e de Apoio ao Pequeno Produtor Rural (PRAPEM/MICROBACIAS), desenvolvido pela Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Rural de Santa Catarina. Ele tem por objetivo reduzir a pobreza no espaço rural de Santa Catarina e de melhorar a gestão dos recursos naturais.

### **2.5.1 Caracterização das áreas experimentais**

A área de estudo é a bacia experimental do ribeirão Concórdia (figura 2.1), localizada no município de Lontras. O ribeirão Concórdia é afluente do rio Lontras e este é afluente do Rio Itajaí-Açu. A região climática onde está inserida a microbacia, de acordo com a classificação de Thornthwaite é definida como sendo clima Mesotérmico Úmido do tipo B3 B'3 ra', sem estação seca definida e com precipitações anuais entre 1600 a 1800 mm. De acordo com Köppen, o clima é do tipo Cfa. A vegetação original da área pertence à Floresta Ombrófila Densa. A Bacia do Ribeirão Concórdia possui uma área de drenagem de 30,74

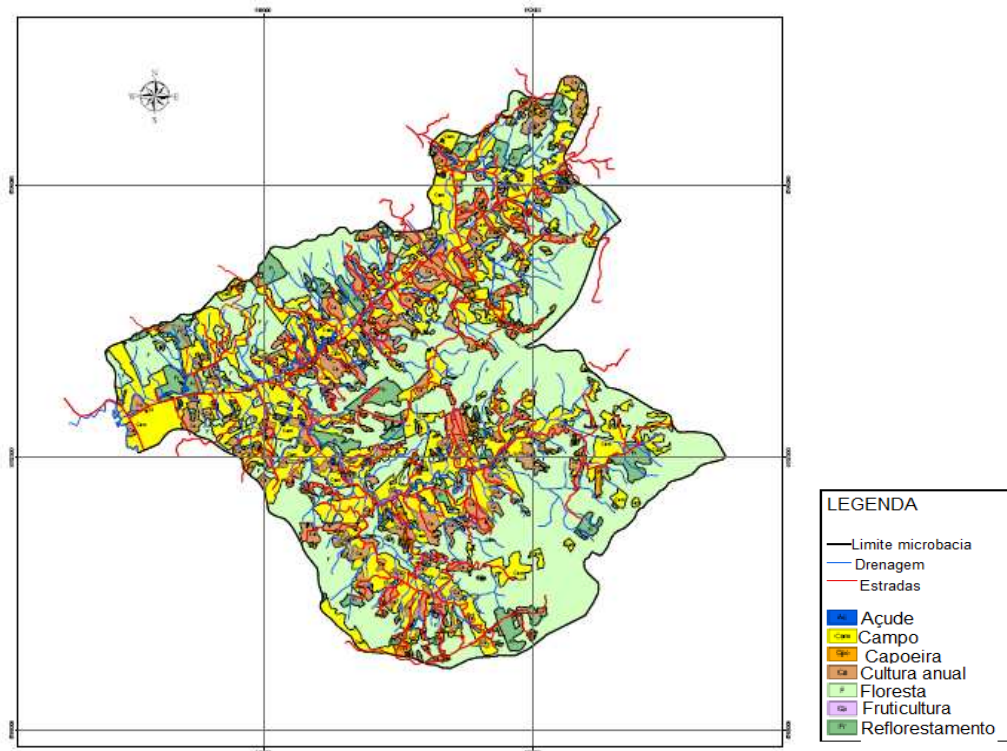
km<sup>2</sup>. A bacia possui quatro pontos de monitoramento principais (figura 2.1). As áreas de drenagem dos pontos 1, 2 e 3 são 29,89; 5,81 e 2,36 km<sup>2</sup>, respectivamente.

Atualmente, o uso e ocupação da terra é composto de cerca de 46% de cobertura florestal (nativa e implantada), 18% de pastagens e 36% de agricultura (milho, fumo e hortaliças), conforme figura 2.2.



**Figura 2.1. Localização dos pontos de monitoramento na Bacia do Ribeirão Concórdia**

O Ponto 1 está localizado mais a jusante na bacia, próximo ao exutório da bacia. Situado na latitude 27° 10' 45,7" S e longitude 49° 31' 17,1" W, a uma altitude de 346 m, e o solo é o Gleissolo háplico Ta alumínico típico. Este ponto está situado afastado da estrada geral da bacia, sendo separados por uma residência. Sem mata ciliar em nenhuma das margens. A outra margem do rio é ocupada por pastagem, e acima desta pequena área de pastagem podem-se encontrar lagoas de criação de peixes, que são frequentemente esvaziadas. Esta água é diretamente lançada no ribeirão. A montante do ponto 1, as duas margens são ocupadas por um reflorestamento de pinus.



Fonte: Adaptado Inventário de terras – EPAGRI, 2004

**Figura 2.2 – Mapa de Usos do Solo – Lontras, SC. Escala 1:25.000**

O ponto 2 está localizado no Braço do Ribeirão Concórdia. Situa-se a latitude de 27° 10' 28,3" S e longitude de 49° 28' 28,3" W, com altitude de 349 m. O solo encontrado neste ponto é o Cambissolo háplico alumínico típico. Na área de contribuição deste ponto também pode ser encontrado Argissolo vermelho-amarelo alítico típico. O terreno nesta região apresenta declividade elevada. Na margem direita imediatamente ao lado está localizada a estrada geral de acesso ao Braço do Ribeirão Concórdia, e na margem esquerda encontra-se

uma residência e instalações rurais. A montante do ponto de coleta há uma pequena faixa de mata ciliar não muito extensa.

O ponto 3 localiza-se na latitude de 27° 09' 58,2" S e longitude 49° 29' 28,2" W, com altitude de 397,5 m. Na margem direita, o ribeirão está afastado cerca de 30 m da estrada e protegido por vegetação. A montante do ponto de coleta o terreno também é protegido pela mesma vegetação. A margem esquerda não possui cobertura vegetal, apenas vegetação rasteira, e bastante íngreme. O solo é o Argissolo vermelho-amarelo alítico típico. O relevo à montante é declivoso e possui afloramentos rochosos, associados a solo raso, com grande quantidade de folhelhos ardósios escuros, que se desprendem facilmente.

O ponto 4 situa-se na latitude 27° 11' 20,5" S e longitude 49° 29' 40,1" W, com altitude de 365 m. É o ponto mais afastado do Ribeirão. O solo é o Cambissolo háplico Ta distrófico típico. O terreno onde está localizado o ponto amostral é moderadamente declivoso, e vem sendo utilizado para agricultura há pelo menos quinze anos, sem nenhuma prática evidente de conservação do solo, exceto algumas adubações verdes esporádicas. A principal cultura é o milho, em plantio convencional.

## **2.5.2 Dispositivos experimentais**

A bacia está equipada com:

- duas estações fluviométricas, sendo uma telemétrica, com régua linimétrica e outra com vertedor misto. Os sensores de níveis são equipados com datalogger, com armazenamento dos níveis a intervalos de 10 minutos;
- um lisímetro com 1 m<sup>3</sup>;
- 3 tensiômetros, marca UMS, com datalogger, instalados no lisímetro nas profundidades de 10, 30 e 70 cm;
- três amostradores de nível ascendente (ANA) e um amostrador de nível descendente (AND).

### **2.5.2.1 Amostrador automático de nível ascendente e nível descendente**

Os amostradores ANA (Amostrador de nível ascendente) e AND (amostrador de nível descendente) foram construídos e implantados conforme foi descrito por Umezawa (1979). Possibilitam a coleta da amostra na profundidade, ou seja, todo o perfil da lâmina de água

durante a passagem de uma onda de cheia. O ANA coleta amostras de água durante a subida da onda de cheia. É composto por um conjunto de garrafas, onde em cada uma delas são acoplados dois tubos, um para admissão da amostra e outro para saída do ar. O tubo de admissão é em forma de sifão para manter a coleta mesma com pequena oscilação de nível. A coleta de água em cada cota inicia no instante em que o nível de água chega ao bocal de entrada, até o momento em que atinge o ponto mais alto do seu sifão. O AND parte do mesmo princípio, porém possui um sistema de roldanas com alavanca, que mantém o bico de entrada fechado durante a elevação do nível de água. A partir do momento que o nível começa a baixar, o contrapeso força a abertura do bico de entrada, permitindo o enchimento da garrafa.

Primeiramente foi instalado o ANA e o AND no ponto 1 da bacia (figura 2.3), na margem esquerda, com oito frascos coletores para subida e oito frascos coletores para descida. Os frascos coletores são garrafas de vidro com capacidade de armazenamento de 1000 mL.



**Figura 2.3. Amostrador de nível ascendente e nível descendente instalado no ponto 1**

O ANA inicia na cota 2,05 m, que corresponde a uma vazão de 0,29 m<sup>3</sup>/s e termina na cota 3,52 m, que corresponde a uma vazão de 6,05 m<sup>3</sup>/s. O AND inicia na cota 3,72 m e termina na cota 2,32 m, que correspondem as vazões 8,15 m<sup>3</sup>/s e 0,59 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. A seção fluviométrica possui sensor de nível, funcionando pelo registro de pressão da coluna de água, com registrador automático, com coleta de dados a cada 5 cm, os quais são armazenados em um datalogger.

Posteriormente foi instalado o Amostrador de Nível Ascendente no ponto 3. A instalação do amostrador foi feita da mesma maneira conforme descrito anteriormente. Nesta seção estão instalados sete frascos coletores. O primeiro frasco está instalado a uma cota de 0,21 m, que corresponde a uma vazão de 0,029 m<sup>3</sup>/s e terminando na cota 0,69 m com vazão de 0,56 m<sup>3</sup>/s. O ponto está equipado com um sensor de nível de bóia, com funcionamento idêntico ao da seção anterior.



**Figura 2.4. Amostrador de nível ascendente instalado no ponto 2 da bacia**

No ponto 2 foram instalados sete frascos coletores, conforme figura 2.4. O primeiro frasco coletor está instalado a uma cota de 0,25 m, que corresponde a uma vazão de 0,11 m<sup>3</sup>/s e o último frasco na cota 1,09 m com vazão de 5,17 m<sup>3</sup>/s. A seção fluviométrica é equipada com um sensor de nível de bóia, com registro automático, a intervalos de 5 minutos, armazenados em datalogger.

Nos três pontos amostrais as coletas são feitas sempre após eventos de cheia.



### 2.5.2.2 Vertedor misto

O vertedor misto é constituído por uma parte retangular e outra triangular de 90°. O vertedor triangular tem capacidade de medir vazões abaixo de  $400 \text{ l s}^{-1}$ , e o vertedor retangular mede vazões superiores. A figura 2.5 mostra o vertedor misto usado neste estudo.



**Figura 2.5. Vertedor misto construído no ponto 3 da bacia do Ribeirão Concórdia**

O vertedor além de utilizado para amostragens de vazão desempenhou papel importante sobre o estudo de sedimentos transportados por arraste. Quando fechado funcionava como depósito de sedimentos, abrangendo extensão de cerca de 17 m de comprimento e cerca de 3m de largura.

### 2.5.2.3 Lisímetro

Os lisímetros são utilizados para estudos das relações entre água, solo e plantas. São amplamente usados no campo para representar o meio, para a determinação da evapotranspiração das culturas em crescimento ou cultura de referencia. Os lisímetros podem ser volumétricos ou de pesagem.

Segundo Pereira et al. (2002), os lisímetros de pesagem determinam diretamente a evapotranspiração, durante um intervalo de tempo, pela variação da massa de um volume de solo vegetado e confinado por paredes impermeáveis. Porém, esse tipo de lisímetro pode apresentar problemas operacionais quando as medições são feitas na estação chuvosa, e em dias de fortes rajadas de vento.

Na bacia foi implantado um lisímetro volumétrico, pelo baixo custo, facilidade de operação e pouca manutenção.

O lisímetro permite obter o balanço hídrico da área por ele contemplada. O lisímetro volumétrico foi construído utilizando-se chapas de acrílico com dimensões de 1 x 1 x 1 m, constituindo uma amostra indeformada de solo (Figura 2.6). Está equipado com tensiômetros, constituídos de cápsula porosa de 24 mm de diâmetro e 64 mm de comprimento, preenchidos com água. Quando colocado no solo, a água contida na capsula tende a entrar em equilíbrio com a tensão da água no solo ao seu redor. Qualquer mudança no teor de água do solo deve ser transmitida à água no interior da cápsula, sendo indicada pelo dispositivo de leitura. Eles medem tensões entre 1000 hPa a + 850 hPa, com precisão de 5 hPa.



**Figura 2.6. Lisímetro volumétrico instalado na Bacia Ribeirão Concórdia**

Ele é representativo da produção de sedimentos em área agrícola. O lisímetro possui instalação para coleta do escoamento superficial e sub-superficial profundo, conforme mostra a figura 2.7.

A medição do escoamento sub-superficial profundo foi realizada a partir da instalação de tubulação conectada a um galão com capacidade de 50 l. Da mesma maneira a medição do escoamento superficial é feita a partir de tubulação conectada ao lisímetro e a uma garrafa com capacidade de 2 l de armazenamento.



**Figura 2.7. Coletores de escoamento superficial e sub-superficial do lisímetro instalado na bacia do Ribeirão Concórdia**

### **2.5.3 Análises de laboratório**

As análises laboratoriais são descritas em cada capítulo, conforme a sua utilização. A escolha do método foi feita em função da análise a se realizar, do objetivo da amostragem, da quantidade e qualidade da amostra.

## **2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Por tudo o que foi exposto acima, o sedimento pode ser considerado como o resultado da interação entre todos os processos que ocorrem em um ecossistema aquático. A capacidade do sedimento em acumular compostos faz desse compartimento um dos mais importantes na avaliação do nível de contaminação de ecossistemas aquáticos continentais. Esse acúmulo depende da composição e da dinâmica do sedimento, que é função dos fatores biológicos, físicos e químicos, que se tratados neste trabalho.

A análise do sedimento presente em um corpo d'água é vital para a compreensão de uma série de fatores, pois possibilita a caracterização das populações de organismos no ecossistema, controle de fontes de poluição, determinação da qualidade da água, além do

conhecimento dos tipos de atividades antrópicas que acontecem e aconteceram no passado na bacia hidrográfica.

Conclui-se então que o estudo do sedimento e sua interação com a água são de grande importância para o entendimento da dinâmica fluvial de bacias hidrográficas. O conhecimento das características físicas e químicas do mesmo é fundamental para se encontrarem soluções de manejo adequadas para manutenção das bacias hidrográficas.

### 3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DOS SOLOS E SEDIMENTOS DA BACIA

#### 3.1 RESUMO

O movimento de solutos e material particulado das vertentes das bacias em direção aos corpos de águas superficiais produz uma interação entre os atributos físicos e químicos dos solos e a qualidade dos sedimentos encontrados em rios, lagos e reservatórios. O objetivo deste trabalho é analisar as relações entre os atributos físicos e químicos dos solos das vertentes e a qualidade dos sedimentos encontrados na rede de drenagem de águas superficiais de uma bacia hidrográfica. A área de estudo apresenta uso essencialmente agrícola, com área de drenagem de 30,74 km<sup>2</sup>, localizada no bioma Mata Atlântica, no estado de Santa Catarina. A metodologia compreende a determinação de características físicas, como densidade, porosidade, granulometria e condutividade hidráulica e, composição química do solo e sedimento, em vários pontos da bacia. Os resultados mostram que os sedimentos possuem diâmetro médio superior a aquele dos solos da bacia. O escoamento fluvial transporta a maiores distâncias os sedimentos finos enquanto que os sedimentos grosseiros podem ser retidos na bacia devido ao deposição. As concentrações dos elementos químicos são mais elevadas nos sedimentos do que nos solos da bacia. O elementos químicos transportados em solução ou aderidos as partículas finas durante eventos pluviosos de baixa intensidade tendem a se acumular nos sedimentos.

Palavras-chave: sedimentos, características físicas e químicas, bacia agrícola

**SUMMARY** - The movement of solutes and particulate material component of the river toward surface water courses, produces an interaction between the physical and chemical attributes of soils and quality of sediments found in rivers, lakes and reservoirs. This study analyzes the relations between these elements in an agricultural watershed with drainage area from 30.74 km<sup>2</sup>, located in the Atlantic forest in the state of Santa Catarina. The methodology includes the determination of physical characteristics such as density, porosity, particle size and hydraulic conductivity and chemical composition of soil and sediments in various parts of the basin. The results show that the sediments have a mean diameter greater than that of soils of the basin. The river flow carries for larger distances finer while coarse sediments can be retained in the basin due to the deposition. The concentrations of chemical elements are higher in sediments than in soils of the basin. The chemicals elements transported in solution or adhered to the fine particles during rainy events of low intensity tend to accumulate in sediments.

Key words: sediments, physical and chemical characteristics, agricultural basin

### 3.2 INTRODUÇÃO

A atividade agrícola pode provocar o remodelamento das paisagens rurais, frequentemente em detrimento dos interesses ambientais. As mudanças geram, por consequência, entre outras, alteração dos processos hidrológicos e biogeoquímicos, o aumento das cargas sólidas e o crescimento dos teores de poluentes nos corpos de água.

Os processos hidrológicos e biogeoquímicos afetam a mobilização de sedimentos e nutrientes e o seu transporte nas vertentes e no sistema de drenagem da bacia. Eles são influenciados pelas inter-relações entre hidrologia, erosão dos solos e as transformações das diferentes formas das substâncias químicas consideradas. Estes fatores podem ser de origem natural (por exemplo, topografia, geologia, clima) e antrópica (por exemplo, utilização dos solos, a gestão das terras, regularização de fluxo), os quais aparecem em diferentes escalas espaciais e temporais. A integração destes efeitos e suas interações possibilitam resolver problemas de qualidade da água que são relevantes para a gestão de recursos hídricos (Crosbie; Chow-Fraser, 1999; Carvalho et al., 2000; Araújo et al., 2009).

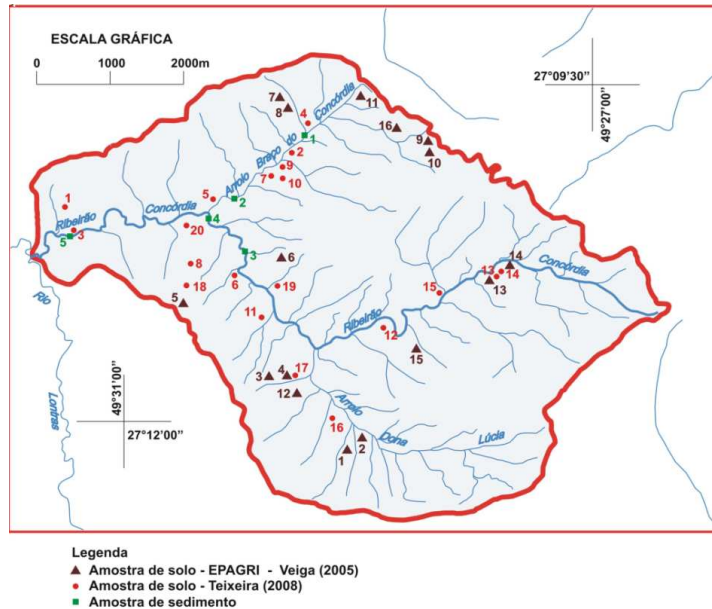
A natureza e a distribuição dos solos são fatores importantes na resposta hidrológica das bacias hidrográficas (Dunn e Lilly, 2001). Os solos influenciam igualmente na qualidade das águas e dos sedimentos (Karlen et al., 2003). No entanto, na maioria dos estudos ambientais implicando o solo, o objetivo não é melhor conhecer seu funcionamento geoquímico, mas compreender o seu papel na redução ou transporte da poluição à rede de drenagem (Grimaldi, 2004).

O escoamento da água nas vertentes das bacias hidrográficas faz a ligação entre o solo e o sistema de drenagem. Os escoamentos superficiais e sub-superficiais promovem a dissolução de elementos e desagregação de partículas do solo promovendo seu transporte em direção aos corpos de águas superficiais. Isto implica que a qualidade das águas e dos sedimentos pode ser vinculada aos atributos físicos e químicos dos solos de uma bacia.

Este trabalho tem por objetivo avaliar as relações entre os atributos físicos e químicos dos solos das vertentes e a qualidade dos sedimentos encontrados na rede de drenagem de águas superficiais. Visa-se subsidiar os processos de gestão de recursos hídricos realizados em diferentes escalas espaciais, tais como “microbacias” e a bacia do rio Itajaí, na qual a área de estudo está inserida.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia compreende a realização de análises físicas e químicas de amostras de solo da área agrícola e do sedimento coletado no sistema de drenagem. As localizações dos pontos de amostragem são apresentadas na figura 3.1. Comparações foram realizadas com os resultados obtidos nos trabalhos de Veiga (2005) e de Pandoffo et al. (2005).



**Figura 3.1. Mapa da bacia do Ribeirão Concórdia com seus respectivos pontos amostrais**

A área de estudo é a bacia do Ribeirão Concórdia, que possui uma área de drenagem de 30,74 km<sup>2</sup>. Os solos predominantes na bacia são Cambissolos e Argissolo Vermelho-Amarelo. A região climática onde está inserida a bacia, de acordo com a classificação de Thornthwaite é definida como sendo clima Mesotérmico Úmido do tipo B3 B'3 ra', sem estação seca definida e com precipitações anuais entre 1600 a 1800 mm. De acordo com Köppen, o clima é do tipo Cfa. A vegetação original da área pertence à Floresta Ombrófila Densa. Atualmente, os principais usos na bacia são mata nativa (47,61%), pastagem (20,35%) e milho (9,29%).

São apresentados atributos físicos do solo, tais como densidade, porosidade, e condutividade hidráulica e os atributos químicos como concentrações de Ca, Mg, K, Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb, Cr, Al, P total e N total. Os sedimentos foram analisados quanto a sua

granulometria e composição química. As amostras de solo para determinação de suas características físicas foram coletadas em diferentes pontos da bacia, para a massa específica aparente, verificou-se a relação entre peso e o volume da amostra. A porosidade foi determinada pela relação entre a massa específica das partículas e a massa específica aparente (Claessen, 1997). A massa específica aparente e porosidade foram determinadas em amostras com estrutura preservada, coletadas em anéis volumétricos de 5,0 cm de altura e 6,2 cm de diâmetro (aproximadamente 140 cm<sup>3</sup>), e nas profundidades de 0-20, 40-60 e 80-60 cm. A granulometria foi determinada pelos ensaios de peneiramento e de sedimentação, descritos pela NBR 7181/84. O solo foi preparado de acordo com NBR 6457/86.

Os sedimentos foram coletados no fundo dos cursos de água, em 5 pontos definidos aleatoriamente, durante o período de 2007 à 2009. A granulometria dos sedimentos, assim como a do solo foi determinada através dos ensaios descritos pela NBR 7181/84, obtida pelo método da pipeta e extração com hidróxido de sódio (NaOH) 1 mol L<sup>-1</sup>. As classificações texturais seguiram a metodologia de Shepard, segundo Suguio (1973), baseadas nos percentuais de areia, silte e argila.

Os pontos de amostragens apresentam diferentes usos e manejos do solo. As análises químicas de amostras de solo foram realizadas pelo laboratório de solos da Epagri (CPAF). A análise química dos sedimentos de leito de rio foi feita pelo Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE. Os elementos químicos do sedimento foram determinados para a fração < 2 mm. Os parâmetros Ca, Mg, K, Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb, Cr e Al foram analisados pelo método de digestão nitro-perclórica e determinação em Eaa-Chama; o P total foi determinado pelo método de digestão sulfúrica e determinação por UV-Vis e o N total, pelo método de digestão sulfúrica e determinação por Kjeldahl.

### **3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.4.1 Atributos Físicos do Solo da Bacia do Ribeirão Concórdia**

Os valores das massas específicas aparentes e da porosidade obtidas para as profundidades de 0 a 20, 40 a 60 e 80 a 100 cm são apresentados na Tabela 3.1.



**Tabela 3.1. Massa específica aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) e porosidade (%) do solo nos pontos amostrais em diferentes profundidades**

Pontos	Uso do solo	Massa Específica Aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )			Porosidade (%)		
		0 a 20	40 a 60	80 a 100	0 a 20	40 a 60	80 a 100
		cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	Pastagem perene	0,93	1,45	1,43	64,11	45,09	45,74
2	Milho	1,24	1,37	NC	51,33	47,15	NC
3	<i>Pínus</i> spp	1,31	1,43	1,84	47,85	44,85	28,41
4	<i>Pínus</i> spp	1,01	1,17	1,39	60,5	54,43	45,48
5	Milho	1,51	1,38	1,28	41,59	46,00	49,2
6	Milho	1,36	1,38	1,41	44,96	45,78	46,12
7	<i>Eucalyptus</i> spp.	1,18	1,37	1,16	NC	NC	NC
8	Milho	1,30	1,29	1,24	NC	NC	NC
9	Milho	1,30	1,24	1,41	49,03	51,24	46,41
10	Mata nativa	0,98	1,13	1,08	59,83	55,20	58,21
11	Milho	1,49	1,38	1,30	40,45	45,36	48,81
12	<i>Eucalyptus</i> spp.	1,08	1,26	1,14	56,62	50,24	55,39
13	Mandioca	1,19	1,28	1,14	53,53	50,48	56,26
14	Pastagem	1,16	1,23	1,13	53,66	51,40	56,16
15	Milho	1,40	1,41	1,37	44,04	44,09	47,00
16	Cebola	1,31	1,17	1,28	46,86	53,57	49,55
17	Fumo	1,57	1,47	1,20	39,79	41,70	51,79
18	Área abandonada	1,40	1,27	1,34	46,67	50,79	48,45
19	<i>Eucalyptus</i> spp.	1,06	1,08	1,09	58,32	55,31	55,00
20	Mata nativa	1,55	1,60	1,69	37,93	38,12	34,98
MÉDIA		<b>1,27</b>	<b>1,32</b>	<b>1,31</b>	<b>49,84</b>	<b>48,38</b>	<b>48,41</b>
DESVIO PADRÃO		<b>0,19</b>	<b>0,13</b>	<b>0,20</b>	<b>7,84</b>	<b>4,87</b>	<b>7,63</b>
MÁXIMA		<b>1,57</b>	<b>1,60</b>	<b>1,84</b>	<b>64,11</b>	<b>55,31</b>	<b>58,21</b>

\* NC = não coletado

Os valores médios da massa específica aumentaram com a profundidade. Na camada de 0 a 20 cm, ela foi de  $1,27 \text{ g cm}^{-3}$ , aumentando para  $1,32 \text{ g cm}^{-3}$  na camada intermediária de 40 a

60 cm e na camada mais profunda de 80 a 100 cm a massa específica média foi de  $1,31 \text{ g cm}^{-3}$ . No entanto, este acréscimo com a profundidade não foi verificado em todos os pontos. Nos pontos 5, 11, 15, 16 e 17 que apresentam rotação de culturas, a massa específica sofreu decréscimo com a profundidade. Resultado similar foi encontrado por Moraes (2007) em áreas agrícolas submetidas a este tipo de manejo do solo. Nos pontos no qual não ocorre movimentação do solo, tais como em reflorestamento de *Pinus* e na mata nativa, o acréscimo da massa específica foi observado (pontos 3, 4, 19, 20). No entanto, os valores não apresentaram grandes variações. A análise de variância (ANOVA) mostrou que não existem diferenças entre as amostras tanto para massa específica quanto porosidade do solo para um nível de significância de 0,05.

Os valores de porosidade variaram entre 64,11% na profundidade de 0 a 20 cm no ponto amostral 1 (uso da terra de pastagem perene) e 28,41% na profundidade de 80 a 100 cm no ponto amostral 3 (plantação de *Pinus*). Valores baixos de porosidade foram encontrados na mata nativa, variando entre 35 e 39%. Para a maioria dos pontos amostrais que tem como uso do solo o plantio de grãos, independente do manejo, observou-se o aumento da porosidade com o aumento da profundidade para todos os sistemas de produção com culturas produtoras de grãos.

Veiga (2005) observou que houve um aumento na massa específica aparente com a profundidade, exceto em áreas de pastagem nativa, provavelmente em função de não ser promovido preparo do solo neste sistema. Neste caso, a combinação de pouca presença de massa seca de pastagem (alta pressão de pastejo) e grande distância percorrida pelos animais, resulta em aplicação excessiva e continuada de pressão/carga sobre o solo, muitas vezes em condições de umidade adequadas para o processo de compactação. A menor densidade do solo na camada superficial pode estar relacionada com as operações de preparo do solo, realizadas anualmente pelos agricultores, a atividade de microrganismos presentes e também a ação do sistema radicular. Este efeito, no entanto, se restringe às camadas superficiais (0 a 5 e 5 a 10 cm).

Na tabela 3.2 é apresentada a composição granulométrica média dos solos na bacia. Elas foram determinadas pela média da granulometria nas profundidades de 0 a 20, 40 a 60 e 80 a 100 cm. Cambissolos e Argissolos, como os encontrados na bacia do ribeirão Concórdia, não possuem uniformidade mineralógica entre os horizontes, por isso utilizaram-se valores médios de granulometria. Cerca de 62% da composição do solo é formado por silte, seguido pela areia (25%) e argila (13%). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e observou-se que não existe diferença significativa nas composições granulométricas nos

diversos pontos amostrados, para um nível de significância de 0,05. Com as composições granulométricas foram estimadas as condutividades hidráulicas saturadas.

**Tabela 3.2. Composição granulometria (%) dos solos na bacia do ribeirão Concórdia**

Pontos	Uso do solo	Areia	Silte	Argila
1	Pastagem perene	21,39	67,24	11,36
2	Milho	16,96	67,79	15,24
3	<i>Pinus</i> spp	17,92	77,88	4,21
4	<i>Pinus</i> spp	20,72	68,74	10,54
5	Milho	16,16	67,05	17,04
6	Milho	19,13	71,62	9,25
7	<i>Eucalyptus</i> spp.	38,62	40,47	20,9
8	Milho	17,48	64,98	17,53
9	Milho	16,73	61,84	21,43
10	Mata nativa	32,62	44,45	22,93
11	Milho	38,48	48,55	12,97
12	<i>Eucalyptus</i> spp.	34,83	62,11	3,06
13	Mandioca	19,28	72,92	7,80
14	Pastagem	17,95	78,41	3,64
15	Milho	40,32	56,29	3,39
16	Cebola	25,29	67,41	7,31
17	Fumo	15,44	64,97	19,59
18	Área abandonada	12,93	68,57	18,41
19	<i>Eucalyptus</i> spp.	41,00	39,24	19,76
20	Mata nativa	38,62	40,47	20,9

#### 3.4.2 Atributos Químicos do Solo da Bacia do Ribeirão Concórdia

Segundo EPAGRI (2005) o sistema de cultivo ou de manejo de solo mais utilizado pelos agricultores da bacia do Ribeirão Concórdia é o Sistema de Cultivo Convencional (SCC) com excessivo revolvimento do solo. Em geral, a adubação é baseada na recomendação das agropecuárias da região, muitas vezes sem considerar o sistema de recomendação de

adubação e calagem para culturas nos Estados do RS e SC, preconizado pela CQFS-RS/SC (2004). A maioria dos agricultores utiliza adubos orgânicos produzidos na propriedade (esterco de gado) e, alguns adquirem esterco de peru para aplicar em hortaliças e fumo. O uso de calcário é comum entre alguns produtores da região.

A Tabela 3.3 apresenta os atributos químicos dos solos da bacia do ribeirão Concórdia. A análise de variância (ANOVA) comprova que não existe diferença estatística entre os atributos químicos analisados em todos os pontos amostrados para um nível de significância de 0,05. Nota-se que, para fins agricultáveis, 75% dos locais amostrados apresentam elevada acidez. Em 44% dos pontos amostrados, os teores de fósforo são considerados baixos de acordo com o estabelecido pela CQFS-RS/SC (2004). De forma geral, os teores de potássio são altos (81% dos locais), enquanto que os teores de matéria orgânica são considerados médios a baixos, também de acordo com o estabelecido pela CQFS-RS/SC (2004).

**Tabela 3.3. Atributos químicos dos solos da bacia do Ribeirão Concórdia**

Local	pH	Sat. Al %	mg kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>			
			Al	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn	Fe
1	5,93	4,60	0,04	0,28	1,13	2,56	0,73	2,2	0,5	8,1	0,9
2	4,77	54,50	0,31	0,05	2,35	0,64	0,19	3,2	0,4	13,6	2,6
3	6,57	ND	ND	0,54	1,55	4,00	1,02	2,7	0,8	5	0,8
4	4,6	72,40	0,39	0,04	1,08	0,36	0,12	2,7	0,2	10,5	2,5
5	4,47	47,40	0,41	0,08	0,98	1,28	0,39	1,8	0,9	28,8	1,6
6	5,37	15,50	0,13	0,10	0,77	2,12	0,63	2,7	2	73,9	1,9
7	5,9	1,70	0,02	0,26	0,96	2,84	0,92	1,9	0,6	5,1	2,7
8	5,7	2,50	0,02	0,19	0,77	2,36	0,83	1	0,2	3	3,1
9	5,33	11,90	0,12	0,17	0,82	2,32	0,83	1,2	0,3	5,6	1,8
10	4,43	81,20	0,40	0,19	1,02	0,12	0,10	2	0,3	10,5	1,4
11	5,67	ND	ND	0,33	2,41	1,92	0,71	2	0,9	24,5	1,3
12	6,5	ND	ND	0,65	1,86	2,84	0,92	2,7	0,5	6,2	0,9
13	5,83	3,30	0,03	0,22	1,17	2,08	0,56	2,5	0,4	84,2	1,9
14	5,53	56,60	0,28	0,04	0,87	0,56	0,17	2,6	1,1	90,1	2,4
15	5,33	20,20	0,13	0,45	1,23	1,32	0,54	3,8	0,5	43,4	0,8
16	6,67	ND	ND	0,75	2,68	2,32	0,68	5,6	0,3	6,2	1,1

\*ND = não detectado

Fonte: adaptado de Pandolfo et al. (2005)

Observa-se um acúmulo de argila nas camadas inferiores do solo, mesmo na pastagem e a redução do pH com a profundidade. De forma geral, verificou-se que nas camadas superficiais há um acúmulo de nutrientes, provavelmente resultado da correção e adubação dos solos. A saturação de Al em 38 % dos solos da bacia está acima da porcentagem tolerada para a maioria das espécies cultivadas (acima de 20% é considerada tóxica), fato este que pode afetar o desenvolvimento das plantas nestes solos.

Geralmente, a saturação por alumínio é elevada em solos em que não se faz uso de corretivos de acidez, em função da relação entre o pH e o alumínio. Os altos teores de fósforo e potássio provavelmente se devem ao fato do intensivo e indiscriminado uso de fertilizantes na bacia.

### 3.4.3 Atributos Físicos do Sedimento da Bacia do Ribeirão Concórdia

Os resultados das análises granulométricas dos sedimentos, nos cinco pontos da bacia, são apresentados na Tabela 3.4. Os teores de areia grossa são, em geral, superiores a 50%. A exceção foi o ponto 4, onde a maior porcentagem encontrada foi de silte. Para comprovar que não existe diferença significativa entre as amostras coletadas nos cinco diferentes pontos, aos valores de granulometria encontrados foram submetidos a análise de variância ( $\alpha = 0,05$ ,  $p_{\text{areia}} = 0,9841$ ,  $p_{\text{silte}} = 0,9062$  e  $p_{\text{argila}} = 0,9315$ ).

A partir destes resultados pode-se notar a incidência sedimentos de maior diâmetro. Isto devido ao fato de sedimentos maiores serem transportados por arraste e depositando-se ao longo do leito do rio, enquanto que o particulado mais fino é transportado em suspensão, podendo alcançar o exutório da bacia.

**Tabela 3.4. Granulometria (%) média de sedimentos de fundo de rio, em diferentes pontos amostrais**

<b>Pontos amostrais</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Areia</b>	44,6	65	66,1	30,6	71,9
<b>Silte</b> %	33,4	19,1	20,6	47,3	17,2
<b>Argila</b>	22,5	19,9	13,3	22,1	10,9

O entendimento da granulometria do solo é importante para se compreender a distribuição dos sedimentos e, a dinâmica de formação de uma vertente. Quando se avalia frações

granulométricas separadamente, através de uma regressão múltipla, observa-se que as frações mais grossas são predominantes nos ambientes classificados como naturais; enquanto que as frações mais finas são abundantes nos trechos alterados (França et al, 2006). A relação entre a composição granulométrica das amostras de solo e sedimentos está apresentada na tabela 3.5.

Nota-se que a fração areia predomina em todos os pontos amostrais de sedimento. A fração silte encontrada nas amostras de solo é bastante superior a quantidade encontrada nas amostras de sedimento. A fração argila de ambas as amostras não apresenta muita variação. Este resultado pode estar relacionado ao fato que as amostras de sedimento foram coletadas no fundo do ribeirão, onde se deposita mais facilmente o material grosseiro.

**Tabela 3.5. Composição Granulométrica Média (%) de solo e sedimento na Bacia do Ribeirão Concórdia**

Localização	Material	Granulometria (%)		
		Areia	Silte	Argila
1	Solo	20,72	68,74	10,54
	Sedimento	40,26	34,91	24,82
2	Solo	26,23	53,64	20,13
	Sedimento	65,04	19,08	19,86
3	Solo	27,97	62,39	9,64
	Sedimento	66,12	20,55	13,31
4	Solo	15,21	66,78	17,97
	Sedimento	30,58	47,31	22,10
5	Solo	25,98	61,86	12,16
	Sedimento	71,86	17,21	10,91

As partículas menores, como silte e argila são transportadas em suspensão, e tem sua deposição mais lenta. Para Lima & Silva (2007) o transporte de sedimentos pela água é regido pela relação entre a capacidade de transporte do escoamento e a força necessária para deslocar as partículas sólidas disponíveis em seu curso. As partículas mais finas e leves, como as argilas e siltes, precisam de menos energia que as partículas de areia para serem transportadas. Escoamentos com velocidades elevadas e turbulentas possuem grande capacidade de transporte de sedimentos, sendo pouco seletivos, ou seja, deslocam sedimentos finos e grossos. À medida que a velocidade do escoamento diminui, o transporte de sedimentos se torna mais seletivo, permanecendo no escoamento as partículas de menores dimensões.

### 3.4.4 Atributos Químicos do Sedimento da Bacia do Ribeirão Concórdia

Moreira & Boaventura (2003) afirmam que sedimentos de rios, lagos e lagoas representam a integração de todos os processos que ocorrem no ecossistema aquático à montante e devem ser investigados para elucidar a poluição ambiental e problemas provenientes de assoreamento.

Os sedimentos foram analisados quimicamente, e os resultados obtidos encontram-se na tabela 3.6. Nota-se que o Cd e o Al não foram detectados nos sedimentos. As concentrações de N, P, Ca, K e Mg, apresentaram pequena variação entre os pontos e período de amostragem. Cu, Zn, Mn, Fe, Pb e Cr apresentaram maiores variações nas concentrações encontradas nos sedimentos coletados nos cinco pontos amostrais.

**Tabela 3.6. Concentrações médias de nutrientes e elementos-traço nos sedimentos do rio, em cinco diferentes pontos amostrais**

Pontos amostrais	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	Cd	Pb	Cr	Al
1	1,61	0,72	12,51	13,95	9,66	46,56	105,42	851,01	3197,58	ND	26,31	31,33	ND
2	1,46	0,62	9,87	13,60	8	31,67	73,67	686,43	3072,38	ND	21,67	33	ND
3	1,17	0,48	5,40	12,20	10,73	18,67	53,67	507,44	3069,20	ND	26,67	17,33	ND
4	1,75	0,81	7,33	10,30	8,27	24,33	80	867,92	3105,40	ND	7	19,33	ND
5	1,46	0,37	5,63	13,13	8,13	18,33	56,67	620,10	3032,38	ND	13,50	13,67	ND

ND – não detectado

Para estas concentrações também foi usada a análise de variância (ANOVA), e determinou-se que não existem diferenças significativas nas concentrações de elementos encontrados nos cinco diferentes pontos amostrais ( $\alpha = 0,05$ ).

Segundo Castro et al. (1986) os teores de nutrientes são mais elevados no sedimento perdido em relação à composição química original do solo. Os sedimentos são química e granulometricamente mais diferenciados em relação ao solo original, pois quanto menores as perdas de solo com chuvas menos intensas, que transportam as partículas mais leves (silte e argila) fazem com que o sedimento apresente maior quantidade deste material em relação ao solo original. Deste modo, as chuvas menos intensas são responsáveis pelo enriquecimento do sedimento em relação ao solo original. Também de acordo com Frere et al. (1980) o

enriquecimento do sedimento com nutrientes pode ocorrer pelo processo seletivo de deposição, estando relacionado ao aumento de partículas mais finas, como argila e silte e à concentração destas partículas.

Na tabela 3.7 são apresentadas as concentrações médias de nutrientes nos solos das bacias contribuintes e nos sedimentos dos pontos amostrais.

**Tabela 3.7. Relação entre características químicas do solo e sedimento em seus pontos de contribuição**

Ponto amostral	Descrição amostra	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn	Fe
		g kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>			
1	solo	0,36	1,73	2,46	0,58	2,70	0,45	11,70	1,40
	sedimento	0,69	9,67	13,23	8,40	105,42	46,56	851,01	3197,58
2	solo	0,23	0,86	2,60	0,87	1,45	0,40	4,05	2,90
	sedimento	0,62	9,87	13,60	8,00	73,67	31,67	686,43	3072,38
3	solo	0,33	1,32	2,33	0,67	2,70	0,88	19,12	1,53
	sedimento	0,48	5,40	12,20	10,73	53,67	18,67	507,44	3069,20
4	solo	0,08	0,98	1,28	0,39	1,80	0,90	28,80	1,60
	sedimento	0,81	7,33	10,30	8,27	80,00	24,33	867,92	3105,40

Observa-se que as concentrações de nutrientes são maiores nas amostras de sedimento do que nas de solo. Isto pode estar relacionado ao fato de o sedimento apresentar uma maior fração argila do que o solo nesta bacia. O fósforo é considerado um nutriente imóvel no solo, fica fortemente adsorvido aos colóides, que é confirmado pela pequena diferença encontrada entre as quantidades deste elemento no solo e no sedimento. O potássio apresenta alta mobilidade quando em solução, sendo facilmente transportado. Seus teores no solo variam em função de sua textura. A textura e a CTC dos solos estão intimamente relacionadas, sendo que os solos com baixa fração argila apresentam normalmente menor CTC e menores níveis de potássio trocável (Tomé Jr, 1997).

As concentrações de elementos traço nos sedimentos são muito superiores aquelas encontradas nos solos das bacias contribuintes. Os elementos traço devido a seu peso específico mais elevado são facilmente depositados. As concentrações nos sedimentos têm uma expressiva relação com a composição granulométrica, sendo maior em sedimentos argilosos e menor em sedimentos arenosos. Uma vez sedimentados esses nutrientes podem ser



novamente disponibilizados para a coluna d'água, através das reações de oxirredução, processos de re-suspensão de origem física, biológica ou humana (Kaippert, 2004).

Thomas (1987) apresenta limites das concentrações de metais em relação ao grau de poluição dos sedimentos, conforme é definido pela USEPA (United States Environmental Protection Agency) (Tabela 3.8). Observa-se que nenhum dos pontos amostrados apresenta valores que seriam considerados “não poluídos”. Pode-se concluir a partir desta comparação que todos os pontos amostrais da bacia do Ribeirão Concórdia sofrem influências de ações antrópicas, que ocasionam a degradação das condições naturais da bacia.

**Tabela 3.8. Parâmetros para o grau de poluição de sedimentos, segundo a concentração de metais total ( $\text{mg kg}^{-1}$ )**

<b>Metal</b>	<b>não poluído</b>	<b>moderadamente poluído</b>	<b>altamente poluído</b>
<b>Cu</b>	< 25	25 - 50	> 50
<b>Zn</b>	90	90 - 200	> 200
<b>Mn</b>	< 300	300 - 500	> 500
<b>Cd</b>	–	–	6
<b>Pb</b>	90	90 - 200	> 200
<b>Cr</b>	< 25	25 - 70	> 70

O ponto 1 pode ser considerado como moderadamente poluído em relação ao Zn e Cu. As concentrações de Mn caracterizam os ambientes bentônicos dos cinco pontos como altamente poluídos. Nesta bacia, o zinco e o manganês podem ser provenientes de fertilizantes e de inseticidas usados nas atividades agrícolas.

### 3.5 CONCLUSÕES

A determinação dos atributos físicos e químicos dos solos e dos sedimentos da bacia do ribeirão Concórdia, cujo uso e ocupação da terra é agrícola permite de estabelecer as seguintes conclusões:

1. A granulometria dos sedimentos do fundo dos rios é de dimensão superior ao do solo da bacia. Isto é devido à maior capacidade de transporte do escoamento para partículas mais finas;
2. As concentrações dos elementos químicos encontrados nos sedimentos são superiores a aquelas do solo, principalmente com relação aos metais. A acumulação dos elementos

químicos, principalmente em eventos pluviosos com baixa intensidade, contribui para a ocorrência desta diferença;

3. As concentrações de metais Zn, Cu e Mn presentes nos sedimentos caracterizam o ambiente bentônico como poluído.

## 4 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA

### 4.1 RESUMO

As escalas espaciais influenciam a magnitude dos processos hidrológicos. Neste trabalho visa-se avaliar o efeito da mudança de escala espacial no transporte de sedimentos em suspensão em uma bacia com uso predominante agrícola. Foram analisadas as escalas variando de 1 m<sup>2</sup> (lisímetro) a 29,89 km<sup>2</sup> (3 seções fluviométricas) na bacia do Ribeirão Concórdia, localizada no município de Lontras, SC. Foram coletadas amostras durante 24 eventos de cheias no período de janeiro de 2008 a outubro de 2009. No lisímetro são amostradas as águas escoadas superficialmente ao longo do evento pluvioso. Nas seções fluviométricas foram instalados amostradores de nível ascendente e descendente. O lisímetro representa a produção de sedimentos em áreas com cultivo de cereal. As cargas de sedimentos em suspensão nas três estações fluviométricas foram diferentes, não refletindo uma evolução espacial proporcional a área de drenagem. A seção fluviométrica intermediária apresentou os maiores valores médios de concentração enquanto que a seção de montante, os valores foram os mais baixos. Nota-se que as heterogeneidades espaciais na bacia hidrográfica influenciam fortemente as concentrações de sedimentos em suspensão encontrados no escoamento fluvial.

**SUMMARY** – The spatial scales influence the magnitude of the hydrological processes. This research aims to evaluate the effect of changing spatial scale in the production and transport of suspended sediments in watershed. Scale were analyzed ranging from 1 m<sup>2</sup> (lysimeter) to 29,89 km<sup>2</sup> (3 fluviometrics stations) in Ribeirão Concórdia basin, located in the municipality of Lontras, SC. Samples were collected during 24 floods events, in the period from January 2008 to october 2009. In the lysimeter are sampled the water superficially disposed during the pluvios event. In the fluviometrics stations were installed samplers of upward level and downward level. The lysimeter represents the sediment productions in agricultural areas. Loads of suspended sediments at the three fluviometrics stations were different, not reflecting a spatial evolution proportional to drainage area. The intermediate fluviometric station expressed the higher medium values of concentration, while in the upstream section, the values were the lowest. It is observed that spatials heterogeneities influence the suspended sediment's concentrations found in fluvial flow.

**Palavras-chave:** erosão do solo, poluição difusa, bacia agrícola.

## 4.2 INTRODUÇÃO

As interações no sistema hidrológico podem ser estudadas em diferentes escalas espaciais e temporais. Em cada escala, as medidas e os métodos variam de acordo com os processos considerados. A análise espacial e temporal dos processos é complexa, o que resulta muitas vezes na adoção de simplificações, que envolvem, entre outras coisas, a discretização espacial e temporal dos fenômenos estudados. A integração das diversas escalas é um problema científico que tem sido estudado em bacias hidrográficas (Blöschl & Sivapalan, 1995, Blöschl, 2001, Ocampo et al., 2006, Wagener et al. 2007). Devem ser considerado simultaneamente as dimensões características dos fenômenos elementares, a escala prática das observações e as coletas de dados e a escala do problema a ser resolvido (Grimaldi, 2004).

A escala da bacia hidrográfica permite limitar a variabilidade e heterogeneidade do meio que são estudados nas escalas inferiores. Seu caráter integrador é por um lado o seu principal interesse e de outro lado seu principal limite. Esta abordagem privilegia os processos dominantes agindo sobre a quantidade e/ou qualidade da água no exutório. Os estudos nas pequenas bacias hidrográficas são muito utilizados em diversos problemas ambientais. Em uma bacia, os processos e os fatores determinantes da produção e transporte de sedimentos são múltiplos.

Tucci & Silveira (1998), afirmam que a heterogeneidade das pequenas bacias é muito grande, ou seja, ocorre uma dificuldade na caracterização de regiões quando diminui a área da bacia, e reduz a escala de detalhamento.

Os sedimentos são, provavelmente, o mais significativo de todos os poluentes em termos de sua concentração na água, seus impactos no uso da água e seus efeitos no transporte de outros poluentes (Brooks et al., 1991). Para Tucci (1997) o conhecimento da capacidade de transporte está intimamente ligado ao conhecimento da dissipação de energia no escoamento da água. Segundo Christofolletti (1981), em períodos de cheia, o curso fluvial tem sua potência aumentada e, conseqüentemente, maior capacidade para o transporte de sedimentos de diversos diâmetros. Seguindo esta lógica, à medida que a vazão diminui, a velocidade do fluxo reduz e, por conseguinte, a capacidade de transporte de sedimentos. Ao sofrer reduções na energia do fluxo, o material em suspensão rapidamente sedimenta e permanece imóvel enquanto a força necessária para seu deslocamento não se desenvolver novamente. Megahan (1999) afirma que o transporte durante um evento de alto fluxo é em sua maioria de sedimentos que se encontram prontamente disponíveis para o transporte conforme ocorre o

aumento de fluxo. Ocorre defasagem quando os sedimentos durante o evento não estão imediatamente disponíveis ou quando se leva algum tempo para aqueles gerados em pontos mais distantes chegarem às estações de medição. Tanto a disponibilidade local e abastecimento de sedimentos a montante das estações de medição são influenciados pela história antecedente de fluxo ao longo do rio.

Seeger et al. (2004) e Zabaleta et al. (2007) analisaram a relação entre as características das bacias hidrográficas, os fatores que atuam na vazão de um evento e a concentração de sedimentos em suspensão em rios. A análise da interação da quantidade de sedimentos produzidos durante um evento chuvoso e as características da vazão pode ajudar no entendimento dos processos que atuam no transporte e deposição de sedimentos. Segundo Willians (1989) as concentrações de sedimentos e as vazões em um rio podem ser influenciadas pela intensidade das precipitações e por sua distribuição na bacia hidrográfica. Vários fatores influenciam a relação entre a concentração de sedimentos em suspensão e a vazão, podendo-se destacar a intensidade da chuva, a variação temporal e diferentes tipos de uso da terra, que podem beneficiar ou dificultar a ocorrência dos processos erosivos, a declividade da bacia hidrográfica e as condições de umidade e descarga que influenciam na quantidade de sedimento a ser fornecida por erosão das vertentes e do canal (Reid et al., 1997).

Neste trabalho procura-se estudar o efeito da mudança de escala espacial no transporte de sedimentos em suspensão em uma bacia com uso predominantemente agrícola. Ela é ocupada por pequenos e médios produtores rurais.

### **4.3 MATERIAL E MÉTODOS**

A área de estudo é a bacia do Ribeirão Concórdia, SC, que pertence à rede de pesquisa de bacias experimentais do bioma da Mata Atlântica. O ribeirão Concórdia é afluente do rio Lontras e este por sua vez é afluente do Rio Itajaí-Açú. A bacia está inserida entre aquelas monitoradas pelo Projeto de Recuperação Ambiental e de Apoio ao Pequeno Produtor Rural (PRAPEM/MICROBACIAS), desenvolvido pela Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Rural de Santa Catarina. A Bacia do Ribeirão Concórdia possui uma área de drenagem de 30,74 km<sup>2</sup>. A região climática, de acordo com a classificação de Thornthwaite é definida como sendo clima mesotérmico úmido do tipo B3 B'3 ra', sem estação seca definida e com precipitações anuais entre 1600 a 1800 mm. De acordo com

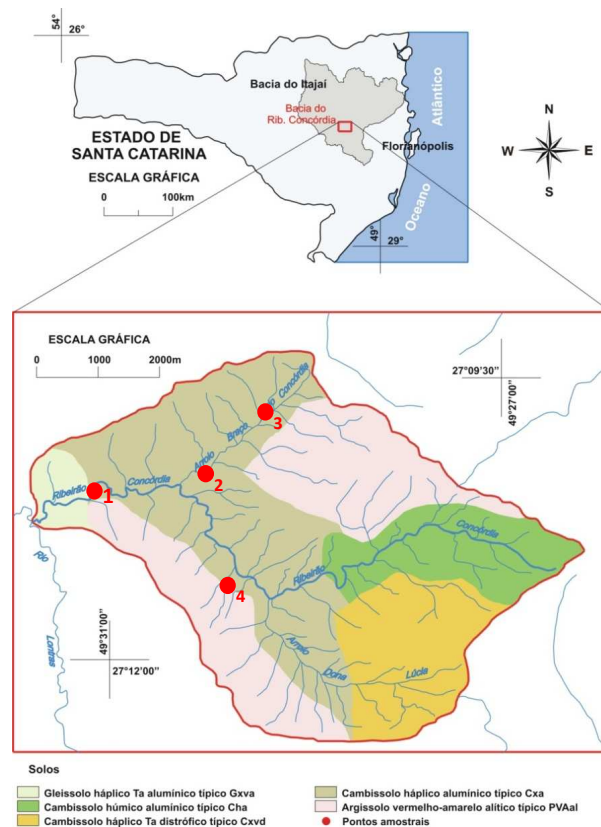
Köeppen, o clima é do tipo Cfa. A vegetação original da área pertence à Floresta Ombrófila Densa.

A bacia é monitorada em quatro pontos, sendo três seções fluviométricas (ponto 1 a 3) e um lisímetro (ponto 4). Nas seções fluviométricas foram instalados sensores de nível e amostradores de água de nível ascendente (ANA) e amostrador de nível descendente (AND) construído e implantado conforme descrito por Umezawa (1979). O lisímetro de 1 m<sup>3</sup> permite monitorar e avaliar o escoamento superficial e escoamento sub-superficial profundo. As seções fluviométricas de coleta encontram-se como bacias embutidas. As áreas de drenagem dos pontos 1, 2 e 3 são 29,89, 5,81 e 2,36 km<sup>2</sup>, respectivamente. Os quatro pontos amostrais permitem uma análise de mudança de escala espacial.

O ponto 1, situado na latitude 27° 10' 45,7" S e longitude 49° 31' 17,1" W, a uma altitude de 346 m, localiza-se próximo ao exutório da bacia e o solo é Gleissolo háplico Ta aluminico típico. Neste ponto estão instalados 16 frascos coletores, sendo 8 frascos no ANA e 8 no AND. Os amostradores estão instalados distanciados da estrada, sendo o lado direito do leito do rio ocupado por uma residência e do outro lado uma pequena área de pastagem, e a montante desta área de pastagem existem lagoas para criação de peixes. A montante dos amostradores a área é ocupada por um reflorestamento que ocupa as duas margens.

O ponto 2 situa-se a latitude de 27° 10' 28,3" S e longitude de 49° 28' 28,3" W, com altitude de 349 m. Neste ponto está instalado um amostrador de nível ascendente com sete frascos coletores para coleta de água. O solo encontrado neste ponto é o Cambissolo háplico aluminico típico. Na área de contribuição deste ponto também pode ser encontrado Argissolo vermelho-amarelo alítico típico. O terreno nesta região apresenta declividade elevada. Do lado direito existe uma estrada rural e do lado esquerdo encontra-se uma residência e instalações rurais. A montante do ponto de coleta há uma pequena faixa de mata ciliar, não muito extensa.

A seção fluviométrica do ponto 3 é constituída por um vertedor misto. Nesta seção foram instalados 7 frascos coletores no amostrador de nível ascendente. Neste ponto o lado esquerdo o terreno é bastante íngreme, apenas com vegetação rasteira. Localiza-se na latitude de 27° 09' 58,2" S e longitude 49° 29' 28,2" W, com altitude de 397,5 m. No lado direito, o ribeirão está afastado da estrada e protegido por vegetação fechada. A montante do ponto de coleta, o terreno também é protegido pela mesma vegetação. O solo é o Argissolo vermelho-amarelo alítico típico. O relevo à montante é declivoso.



**Figura 4.1. Localização da bacia do ribeirão Concórdia em Lontras – SC e dos pontos de monitoramento**

No ponto 4, está instalado o lisímetro volumétrico, que foi construído utilizando-se chapas de acrílico com dimensões de 1 x 1 x 1 m, constituindo uma amostra indeformada de solo. Ele é representativo da produção de sedimentos em área com cultivo agrícola. Possui instalação para coleta do escoamento superficial e sub-superficial profundo. Situa-se na latitude 27° 11' 20,5" S e longitude 49° 29' 40,1" W, com altitude de 365 m. O solo é o Cambissolo háplico Ta distrófico típico. O terreno é utilizado para cultivo de cereais há pelo menos quinze anos, sem nenhuma prática evidente de conservação do solo, exceto algumas adubações verdes esporádicas. A principal cultura é o milho, em plantio convencional. No período de abril à julho de 2008 o terreno estava ocupado por uma forrageira de inverno. Após a retirada desta cultura, o solo ficou descoberto até início de setembro do mesmo ano, quando iniciou-se as atividades de preparo do solo (revolvimento) para o plantio de milho. O plantio da cultura se deu no final do mês de outubro de 2008, permanecendo implantada no local até março de 2009. A partir deste mês, o milho foi sendo retirado aos poucos da lavoura,

conforme disponibilidade do proprietário. No lisímetro, a lavoura foi retirada na primeira quinzena de maio. Deste período, até outubro de 2009, o solo ficou descoberto, sendo ocupado apenas por algumas plantas invasoras.

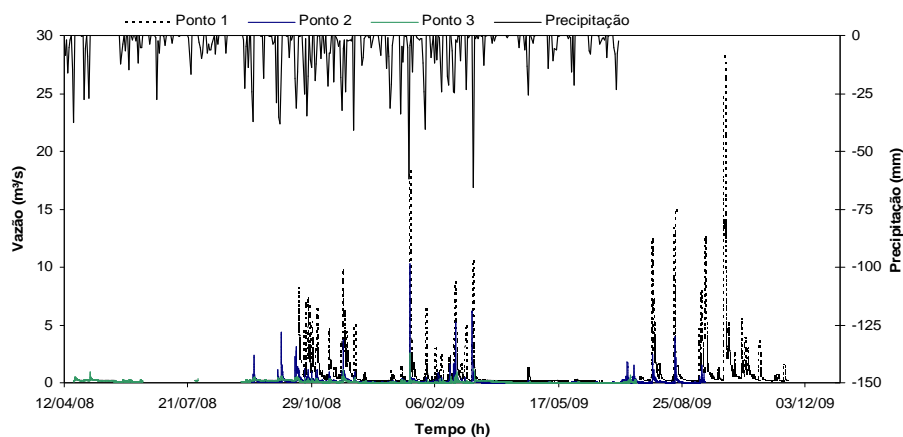
Foram coletadas amostras de água dos amostradores de nível ascendente, nível descendente e lisímetro no período de janeiro de 2008 a outubro de 2009, em vinte e quatro eventos de cheia.

A concentração dos sedimentos em suspensão foi determinada em laboratório, seguindo as seguintes etapas. As amostras (água + sedimento) são homogeneizadas e depois transferidas para béqueres para melhor manuseio. É realizada a secagem das amostras em estufa a 60°C, até completa evaporação da água. Faz-se a pesagem dos béqueres com sedimento. Posteriormente limpos e secos, para pesagem dos béqueres vazios. Procedendo as diferenças entre as pesagens e divisão com o volume total de água, obtendo-se a concentração de sedimento em suspensão para cada amostra.

## 4.4 RESULTADOS

### 4.4.1 Precipitação e Vazão

A figura 4.2 apresenta a evolução das séries temporais de precipitação e vazões medidas nas três seções fluviométricas. A distribuição temporal das precipitações foi variável, apresentando um período mais chuvoso nos meses de agosto de 2008 a fevereiro de 2009. O total precipitado de fevereiro de 2008 a junho de 2009 foi de 2068,25 mm.



**Figura 4.2. Evolução temporal das precipitações e das vazões na bacia do ribeirão Concórdia**

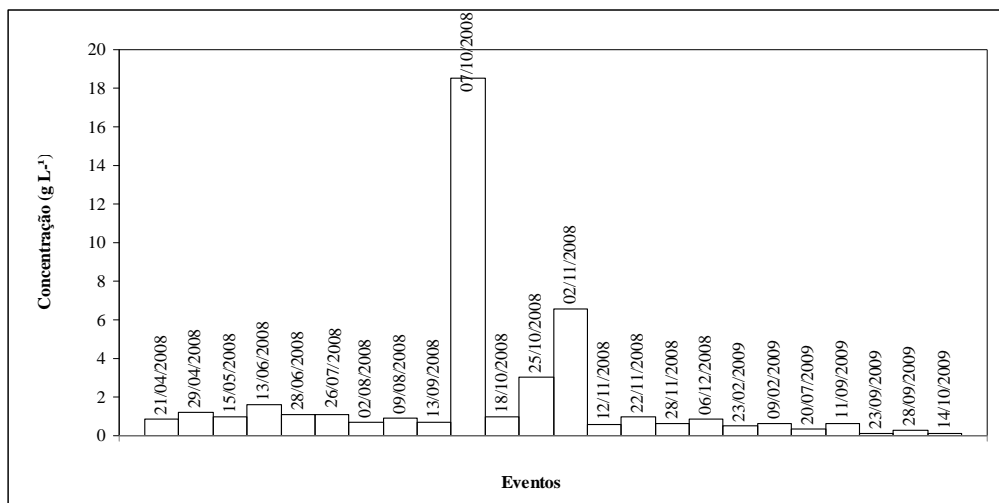


A vazão máxima no ponto 1 foi de  $19,39 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , enquanto no ponto 3 foi de  $2,59 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . A vazão média nas três seções fluviométricas foram  $0,55$ ,  $0,12$  e  $0,06 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  no ponto 1, 2 e 3, respectivamente.

#### 4.4.2 Concentrações de sedimentos em suspensão

No lisímetro, as coletas de amostras de água são realizadas no final do evento de chuvas intensas. Ele expressa uma concentração média do evento hidrológico completo. Na figura 4.3 são apresentadas as concentrações determinadas nas amostras coletadas no período de abril de 2008 a outubro de 2009.

Nota-se que ao longo do período monitorado, a quantidade de sedimentos transportados pelo escoamento superficial se mantém estável. Variou apenas em três eventos que coincidem com a época de preparo do terreno para o plantio (07/10/2008) e época de sementeira e germinação do milho. Estas práticas causam um revolvimento maior no solo quando se trata de agricultura convencional, podendo justificar estes aumentos na concentração de sedimentos encontrados na bacia.



**Figura 4.3. Concentração média de sedimentos no escoamento superficial do lisímetro, por evento chuvoso**

A tabela 4.1 apresenta as concentrações instantâneas características nos quatro pontos de monitoramento. No ponto 1, os valores observados de concentração de sedimentos apresentaram média de  $2,82 \pm 2,46 \text{ g L}^{-1}$ . O valor máximo observado nas médias dos eventos

foi  $29,92 \text{ g L}^{-1}$  e o valor mínimo de  $0,027 \text{ g L}^{-1}$ . A concentração de sedimentos no início da cheia é elevada, apresentando um pico, avançado em relação ao pico de vazão e, em seqüência, um decréscimo na concentração, ainda fase de ascensão do hidrograma. Esta concentração elevada no início das ondas de cheia provavelmente está relacionada à intensidade da chuva, carga de sedimento disponível para transporte e a contribuições externas, conforme citado por Willians (1989).

No ponto 2, os valores observados de concentração de sedimentos apresentaram média de  $6,20 \pm 5,42 \text{ g L}^{-1}$ . O valor máximo observado nas médias dos eventos encontrado foi  $47,66 \text{ g L}^{-1}$  e o valor mínimo encontrado  $0,41 \text{ g L}^{-1}$ .

**Tabela 4.1. Concentrações características na bacia do ribeirão Concórdia**

Concentrações ( $\text{g L}^{-1}$ )	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Lisímetro
Máxima	29,92	47,66	8,74	18,50
Mínima	0,027	0,41	0,05	0,10
Média	2,82	6,20	1,62	1,51
Desvio Padrão	2,46	5,42	1,46	3,43

A concentração de sedimentos no início da onda de cheia é elevada, apresentando um pico, avançado em relação ao pico de vazão e, em seqüência, um decréscimo na concentração, mesmo no ramos de ascensão do hidrograma. Este comportamento na evolução das concentrações é similar ao observado no ponto 1. As concentrações instantâneas no ponto 2 são superiores aquelas medidas no ponto 1. O ponto 2 possui uma área da ordem de 19,5% daquela do ponto 1. Isto indica que o efeito de deposição é mais importante na área contribuinte do ponto 1 do que no ponto 2, fazendo com que exista uma redução das concentrações instantâneas com o acréscimo da área de drenagem da bacia.

No ponto 3, as concentração de sedimentos em suspensão apresentaram média de  $1,62 \pm 1,46 \text{ g L}^{-1}$ . O valor máximo observado nas médias dos eventos foi  $8,74 \text{ g L}^{-1}$  e o valor mínimo de  $0,05 \text{ g L}^{-1}$ . Neste ponto, a medição da vazão é realizada com um vertedor misto. O amostrador está colocado próximo da parede do vertedor. Isto provoca uma alteração da velocidade média do escoamento, fazendo com que uma parcela dos sedimentos transportados seja depositada a montante do amostrador. Entre os sedimentos depositados encontram-se aqueles transportados por arraste e em suspensão. Desta forma, a concentração de sedimentos medida nas amostras de água são inferiores aquelas medidas nas outras duas seções fluviométricas.

A correlação entre vazão e concentração de sedimentos não foi satisfatória em nenhum dos pontos amostrados. Segundo Paiva *et al.* (2000), existe uma relação biunívoca entre cota e descarga se o regime de escoamento for uniforme, ou seja, a declividade da linha de energia for igual à declividade de fundo do canal. Além disto, em pequenas bacias hidrográficas, como é o caso desta em estudo, a situação se modifica, pois as ações antrópicas têm efeitos imediatos nos rios, que nem sempre são expressos nas observações ou registros feitos nas estações fluviométricas.

A Tabela 4.2 apresenta as concentrações médias de sedimento em suspensão encontradas nos quatro pontos de coletas, nos diversos eventos de chuva monitorados.

**Tabela 4.2. Concentrações médias ( $\text{g L}^{-1}$ ) nos quatro pontos monitorados na bacia Ribeirão Concórdia**

<b>Evento</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Lisímetro</b>
30/01/2008	0,60	NC	NC	NC
02/03/2008	0,52	NC	NC	NC
21/04/2008	0,92	NC	NC	0,87
02/05/2008	4,70	NC	NC	0,97
26/06/2008	0,34	NC	NC	1,10
12/09/2008	2,26	NC	0,48	0,70
21/09/2008	0,15	NC	NC	NC
05/10/2008	3,70	3,03	1,40	18,50
18/10/2008	3,97	14,25	4,38	0,97
23/10/2008	0,64	3,87	1,12	NC
25/10/2008	1,09	3,14	0,34	3,01
02/11/2008	3,26	1,78	NC	6,55
12/11/2008	0,40	1,21	0,25	0,56
23/11/2008	1,77	5,47	0,19	0,96
16/01/2009	5,24	NC	3,24	NC
09/02/2009	1,56	NC	NC	0,62
23/02/2009	3,76	2,91	1,16	0,52
09/03/2009	2,10	6,64	2,54	NC
12/07/2009	4,09	1,26	0,32	0,26
28/08/2009	9,74	5,27	NC	NC
11/09/2009	4,23	1,03	NC	0,61
28/09/2009	6,94	15,70	5,03	0,27

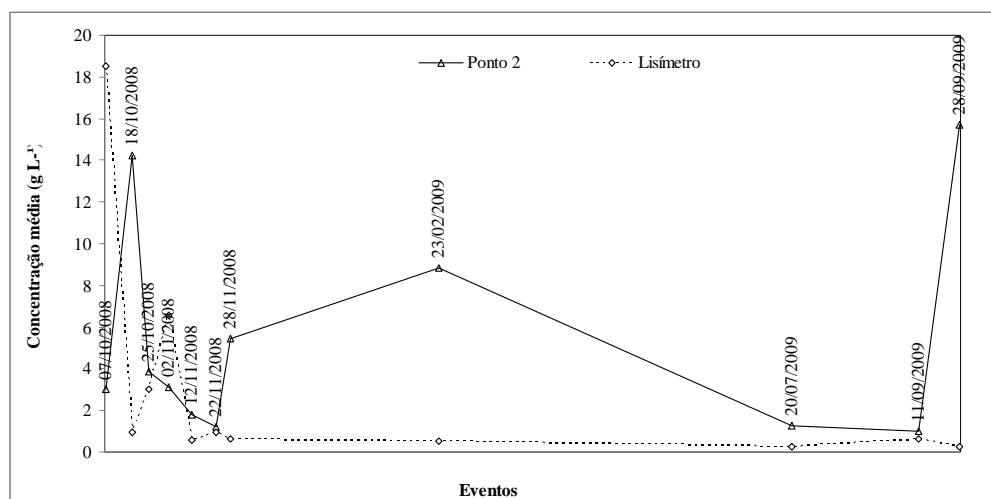
\*NC = não coletado

As concentrações médias foram determinadas pela divisão entre o somatório do produto da concentração e a vazão e o somatório das vazões instantâneas. As concentrações médias no ponto 1 variaram entre 0,15 e 9,74  $\text{g L}^{-1}$  enquanto que no lisímetro variaram entre 0,26 e 18,5  $\text{g L}^{-1}$ . Estes dois pontos de monitoramento representam à maior e a menor

dimensão respectivamente. Através das concentrações médias mínimas e máximas, observa-se que no lisímetro, elas são cerca de duas vezes superiores aquelas do ponto 1. O lisímetro representa uma superfície homogênea de produção de sedimentos, onde o efeito de deposição é muito menor do que na área de contribuição do ponto 1.

As maiores concentrações médias de sedimentos são encontradas no ponto 2, que se localiza ao lado de uma estrada, e possui vários pontos de contribuição de materiais provenientes da mesma, exceto quando ocorre movimentação do solo para plantio na área agrícola. Isto significa que a contribuição das áreas de estradas e vias de acesso, nas bacias hidrográficas rurais pode apresentar uma contribuição significativa de sedimentos ao sistema de drenagem (Cao et al., 2009). Minella *et al.* (2007), estudando as principais fontes de sedimentos em bacias rurais, através de traçadores naturais, verificaram que os sedimentos transportados em suspensão tem como origem a erosão proveniente de área agrícola (68,3 e 55,5 %), erosão nas estradas (28,1 e 37,6 %) e erosão na rede fluvial (3,6 e 6,9 %).

A figura 4.4 apresenta a relação entre as concentrações médias obtidas com as coletas no ponto 2 e as concentrações obtidas no lisímetro, nos dias 07/10, 18/10, 25/10, 02/11, 12/11, 22/11, 28/11/2008, 23/02, 20/07, 11/09 e 28/9/2009.



**Figura 4.4. Concentração média de sedimentos na seção 2 e no lisímetro, nos mesmos eventos**

Comparando-se as concentrações médias nos pontos de coletas da rede de drenagem e aquelas medidas no lisímetro, nota-se que nesta bacia a contribuição específica das áreas agrícolas é relativamente baixa. Destacam-se neste caso, concentrações elevadas apenas nos períodos em que ocorre revolvimento do solo. Ressalta-se que neste caso, não existe o efeito

da deposição dos sedimentos transportados pelo escoamento superficial, devido ao comprimento da rampa ser pequeno. A tabela 4.2 e a figura 4.2 demonstram fortes indicativos de que nesta bacia a maior contribuição de sedimentos é proveniente de estradas e não da agricultura, como a maioria dos trabalhos demonstram.

A análise de mudança de escala espacial tornou-se muito difícil, pois os valores médios encontrados foram bastante diferentes. A correlação da concentração de sedimentos entre pontos de diferentes escalas não foi satisfatória. Segundo Mendiondo & Tucci (1997), as condições iniciais atuantes na micro-escala se filtram e seus efeitos se superpõem para dar uma resposta hidrológica na meso-escala. Elas têm menos efeito à medida que cresce a intensidade e a uniformidade espacial das chuvas. Quando se trata de micro-escalas, é preciso contar com o máximo de fatores que influem no processo hidrológico para obter uma boa estimativa de informação. Para Collischonn (2001) à medida que se aumentam as escalas espaciais da bacia, ocorre uma regionalização de parâmetros (porcentagem de areia e silte no solo, porosidade, temperatura média, etc). Assim, para se obter bons resultados, é necessário que se estime alguns parâmetros em escala local e se associe a medições feitas em escala global, para se contornar possíveis erros.

#### **4.5 CONCLUSÃO**

As concentrações instantâneas e as médias dos eventos de cheias são variáveis ao longo dos 4 pontos de monitoramento. A comparação entre os pontos de maior e de menor dimensão espacial mostra o efeito da deposição na redução das concentrações ao longo da bacia. Quando são comparadas as concentrações do lisímetro com aquelas medidas no ponto 2, este efeito não fica evidenciado. As variações não evidenciam uma tendência espacial, que pudessem explicitar um processo de mudança de escala. Condições locais, nas proximidades do ponto de amostragem, influenciaram nos resultados obtidos. O ponto 3 foi influenciado pelo local de instalação do amostrador de nível ascendente, enquanto o ponto 2 foi influenciado pela estrada de terra situada nas proximidades do ponto de amostragem.

## 5 PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM ESTRADAS

### 5.1 RESUMO

Estradas rurais não pavimentadas podem constituir em importante fonte de geração de sedimentos em uma bacia hidrográfica. Neste trabalho foram simuladas as erosões dos solos provocadas pela precipitação e pelo escoamento superficial em estradas rurais não pavimentadas. Foram simuladas erosões em parcelas com escoamentos distribuídos e em canais com escoamentos concentrados. Nas parcelas foi empregado um simulador de chuva e no canal foram gerados escoamentos com vazões controladas. Para os escoamentos foram determinadas as características hidráulicas, como altura da lâmina de água, tensão de cisalhamento e potência do escoamento. Para os sedimentos, foram determinadas as concentrações em suspensão, as cargas em suspensão e de arraste e as composições granulométricas dos sedimentos transportados por arraste. As concentrações das erosões distribuídas e concentradas foram da mesma ordem de grandeza. As cargas transportadas por arraste foram muito superiores aquelas transportadas em suspensão. No escoamento concentrado foi obtido maior percentual de areia na composição dos sedimentos transportados. Na erosão distribuída, a composição variou em função do tipo de estrada. O trabalho fornece elementos físicos importante à modelização da erosão de solos em bacias hidrográficas.

**Palavras-chave:** Erosão em estradas, simulação de chuva, características físicas do escoamento superficial.

**SUMMARY:** Unpaved rural roads can be an important source of sediment generation in a watershed. In this study were simulated the soil erosion caused by rainfall and runoff. Erosion runoffs were simulated in plots with distributed flows and channels with concentrated flows. In the plots were employed a rainfall simulator and in the channel, flows were generated with controlled outflow. For the flows were measured hydraulic characteristics such as height of the water depth, shear tension and potency flow's. The concentrations in suspension, the suspended and drag loads, and granulometric composition of sediments transported by drag were determined for sediments. Erosion concentrations distributed and concentrated had been of the same order of magnitude. The loads carried for drag had been much higher than those carried in suspension. In the composition of the carried sediment obtained the highest percentage of sand in concentrated flow. In the distributed erosion, the composition varied in function of the road type. The work provides importants physical elements to the modeling of soil erosion in watersheds.

**Key-words:** Road erosion, rainfall simulation, physical characteristics of surface runoff.

## 5.2 INTRODUÇÃO

Em bacias com uso predominantemente agrícola, as erosões ocorrem em áreas com agricultura, pastagens, florestas e as estradas. Em geral as estradas não são pavimentadas e podem ser uma fonte importante de produção e transporte de sedimentos da bacia (Corrêa & Dedecek, 2009). Para Elliot *et al.* (1997), os três efeitos dominantes das estradas no ambiente são a alteração do escoamento superficial das bacias hidrográficas, perda de massa e a erosão superficial. Bertolini *et al.* (1993) consideram que as estradas rurais são vias de acesso essenciais para as comunidades, pois é através delas que se dá o escoamento da produção agrícola, transporte de matérias-primas e acesso da população rural aos mercados e serviços essenciais. Segundo Arruda (1997), o principal agravante é que a maioria das estradas rurais é aberta pelos próprios proprietários das terras, baseando-se apenas em sua estrutura fundiária e nas facilidades do terreno. Uma vez que as estradas são construídas fora dos padrões técnicos adequados, muitas vezes as atividades de manutenção tendem a ser realizadas também sem critério e técnicas adequadas. Estradas mal planejadas funcionam como carregadores de sedimentos, tornando-se umas das principais responsáveis pelo assoreamento de rios, deslizamentos e quedas de barreiras, interrupção de corredores naturais de dispersão e deslocamento de animais silvestres.

A erosão do solo é composta de três fases. A primeira fase da erosão é a desagregação onde as partículas do solo são deslocadas pelo impacto das gotas de chuva ou escoamento superficial. A segunda é o transporte das partículas desagregadas desde o ponto que sofrem o desprendimento até um local onde ocorre a deposição, que constitui a terceira fase. Ela ocorre quando a carga de sedimentos transportados excede a sua capacidade de transporte do escoamento de água. A camada superficial do solo que compõe a estrada sofre um processo de impermeabilização, fazendo com que o escoamento da água de chuva se processe com maior tensão de cisalhamento, causando lavagem dos solos das estradas e adjacentes. O impacto da gota da chuva atua na primeira fase. Ela age através da energia cinética da gota. A erosão é distribuída sobre a superfície, constituindo a erosão laminar ou entresulco. A água escoada superficialmente atua nas três fases. Na primeira, ela age através da tensão de cisalhamento, representando o efeito das condições hidráulicas, tais como peso específico do fluido, profundidade do escoamento e declividade da linha de água. A segunda e terceira fases estão interligadas através da capacidade de transporte, que pode ser descrito pela potência do escoamento (Knapen *et al.*, 2007). O transporte pode ocorrer de forma distribuída em entresulcos (Cassol *et al.*, 2004) ou concentrada em sulcos ou canais (Cantalice *et al.*, 2005).

Várias pesquisas têm contribuído no entendimento e avaliação da desagregação de solos em áreas rurais, incluindo-se áreas agrícolas, pastagens e florestas (Owoputi & Stolte, 1995). As estradas com leito carroçável em terra podem contribuir com cargas significativas de sedimentos finos e grosseiros. O leito em terra pode limitar a infiltração da água no solo, acarretando no acréscimo da taxa de produção de sedimentos na bacia (Ziegler & Giambelluca, 1997).

Cao *et al.* (2009) mostram que as condições dos escoamentos nas estradas possibilitam a geração de taxa de erosão superior aquelas das áreas agrícolas. Tuchy (1982) determinou que o volume de erosão antes da abertura de uma estrada florestal era de 30 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, durante o processo de implementação da estrada o volume erodido aumentou cem vezes. E após a abertura e posterior compactação da estrada, o volume erodido se estabilizou em 120 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

Luce & Black (1993) propõem que em estradas de uso florestal, os sedimentos estão relacionados com outros fatores: comprimento de rampa, declividade, tipo de solo, cortes de taludes, etc. Os autores observaram ainda que a produção de sedimentos em estradas cobertas com solos de textura franco-argilosos foi de cerca de 9 vezes maior que o das estradas constituídas por solos com partículas maiores (barro pedregoso). Neste sentido, Garcia *et al.* (2003) afirmam que o comprimento de rampa e a declividade também são fatores importantes que influenciam diretamente a intensidade dos processos erosivos. Os autores realizaram um experimento para determinar o volume escoado e a perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. Em seu trabalho, concluíram que o volume escoado era mais afetado pelo comprimento do segmento enquanto que a produção de sedimentos era mais influenciada pela declividade da rampa.

O objetivo deste trabalho foi estimar a perda de solo em estradas rurais principais e de acesso as lavouras, através da produção de sedimentos em condições de escoamento e de chuva simulada. É analisada a produção de sedimentos pela erosão laminar e em canais. As estradas rurais principais são utilizadas pela comunidade para tráfego de veículo, interligando propriedades, são mantidas pelo poder público municipal e, servem como escoadouro da produção agropecuária. As estradas de acesso as lavouras são utilizadas unicamente pelos proprietários no seu processo produtivo.

### 5.3 MATERIAL E MÉTODOS

Excluído: ¶



A metodologia compreende a implantação de dispositivos experimentais para simulação controlada da erosão em estradas rurais principais e de acesso as lavouras. Foram controladas as intensidades da precipitação sobre a superfície das estradas e a lâmina de água do escoamento superficial no canal. Foram quantificados os sedimentos transportados em suspensão e por arraste.

As estradas rurais estão situadas na bacia do Ribeirão Concórdia, localizado no município de Lontras, SC. A bacia possui solos predominantes são Cambissolos e Argissolo Vermelho-Amarelo, este último, o tipo de solo onde foi realizado o experimento. Nas estradas principais da bacia do Ribeirão Concórdia são feitas obras para manutenção das mesmas constantemente. A atividade de manutenção limita-se a reposição do revestimento primário, e posterior reconformação da pista de rolamento, utilizando-se a motoniveladora. Para reposição do revestimento primário, a prefeitura municipal geralmente utiliza material proveniente de uma pedreira situada na região de Suite Intrusiva Subida, que é composta por rochas graníticas.

### **5.3.1 Dispositivos Experimentais**

Para a estimativa de produção de sedimentos por erosão laminar foram utilizadas parcelas de 1m<sup>2</sup>, conforme figura 5.1, implantadas no leito carroçável da estrada não pavimentada. A delimitação das parcelas foi realizada através do emprego de três chapas de aço galvanizado de 1,00 m de comprimento e 0,20 m de altura, e uma caixa coletora com 1,00 m de comprimento. As chapas foram cravadas no solo, cerca de 0,05 m.

A caixa coletora foi construída com chapas de aço galvanizado, com largura de 0,20 m e altura de 0,12 m. Em um dos lados, foi realizada uma abertura, com altura de 0,05 m, por onde foi coletado o escoamento superficial e os sedimentos transportados. A superfície de montante da caixa foi fechada e a jusante foi mantida aberta, de modo a permitir a medição da vazão pelo método volumétrico e a coleta de amostras de água e sedimento.

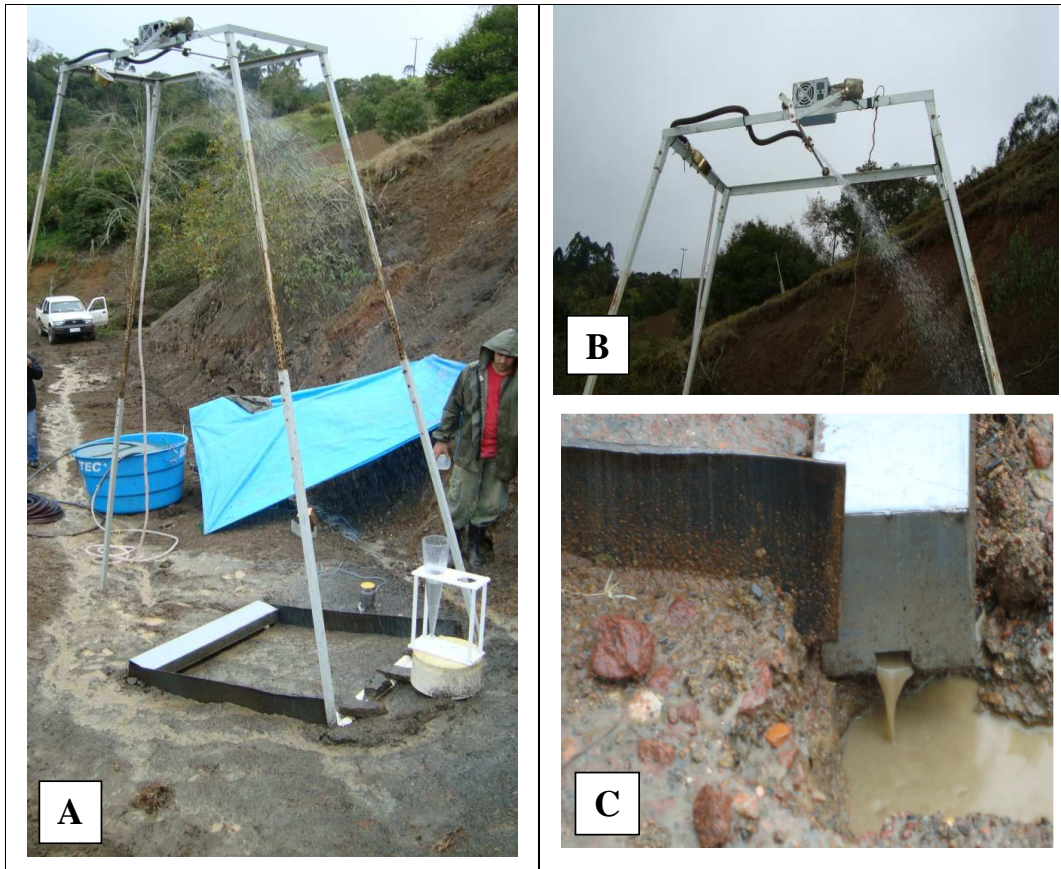


**Figura 5.1. Parcela experimental no leito carroçável da estrada**

Sobre a parcela foi instalado um simulador de chuva, semelhante ao descrito por Meyer & Harmon (1979), localizado a 2,4 m acima da superfície do solo. Foi instalado um bico aspersor tipo Veejet 80-100 e, operado com uma pressão constante (48,2 e 75,8 kPa), aferida por meio de um manômetro. A figura 5.2 demonstra o dispositivo experimental utilizado. As intensidades médias das chuvas aplicadas foram medidas com um pluviógrafo Davis<sup>®</sup>, colocado ao acaso ao lado da parcela. O pluviômetro é equipado com um datalogger registrador Novus<sup>®</sup>, com aquisição dos dados a intervalos de 5 min. A distribuição do tamanho das gotas foi determinada com uso de um disdrômetro, marca JOSS-WALDVOGEL Distrometer, empregando o procedimento descrito por Semmelmann (1991). A área do disdrômetro é de  $5 \times 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>. Ele fornece o tamanho de gotas por classes, a energia cinética, a intensidade da chuva, entre outras características do evento.

Para a estimativa de produção de sedimentos em canais foi desenvolvido um equipamento semelhante ao utilizado por Gonçalves (2008). Constituído por duas chapas de aço galvanizado, de 0,20 m de altura e 1,10 m de comprimento, uma caixa de coleta de 0,05 m de largura e 0,30 m de comprimento. A caixa de coleta foi posicionada na extremidade inferior do canal experimental. Ela foi construída com chapas galvanizadas e dois sistemas de filtragem a fim de reter os sedimentos transportados. As chapas foram instaladas no leito carroçável da estrada, formando um canal de escoamento, com largura de cerca de 0,06 m. As placas foram enterradas cerca de 0,05 m no solo, para condução do escoamento superficial até a caixa de coleta. A declividade do canal foi determinada com um aparelho de nível. A água foi aplicada a montante do canal, através de um reservatório de nível constante, com

capacidade de 50 L. A saída da água foi controlada com orifícios. O diâmetro do orifício foi variado de modo a fornecer vazões variáveis para cada ensaio.



**Figura 5.2. Simulador de chuva em parcelas: A = Vista total do equipamento; B = bico aspersor e manômetro; C = caixa coletora para medição de vazão e depósito de sedimentos.**

A altura da lamina de água no canal foi medida com réguas instaladas em três pontos do canal: a 0,15 m do ponto de alimentação, na metade do canal e a 0,15 m da caixa de coleta. A vazão escoada na caixa coletora foi medida pelo método volumétrico, com o auxílio de um recipiente de 0,920 L. A figura 5.3 apresenta um esquema do dispositivo experimental.



**Figura 5.3. Simulador de escoamento superficial em canal**

### **5.3.2 Ensaios**

Os ensaios com simulação de chuva foram realizados em parcelas, em cada estrada. A simulação foi realizada durante um intervalo de tempo de 40 minutos. Foram simuladas duas intensidades de precipitação em cada parcela. As medições de vazões e as coletas de amostras de água e sedimentos foram realizadas a intervalos de tempo de 5 min, sendo a primeira efetuada imediatamente após o aparecimento do escoamento superficial. A parcela na estrada principal apresentou declividade média de 12,38% e aquela da estrada de acesso a declividade média foi de 14,29%.

Foram realizados dois ensaios em canais na estrada principal e dois na estrada de acesso. Em cada ensaio foram empregas três vazões diferentes e realizados durante o intervalo de tempo de 20 minutos cada. As medições de lâmina de água no canal e da vazão escoada na caixa coletora foram realizadas nos instantes de tempo de 0, 5, 10, 15 e 20 min. As parcelas apresentaram declividades médias variando de 10,8 a 15,8%.

### 5.3.3 Hidráulica dos escoamentos

Os escoamentos de água no canal e na parcela são descritos pelas equações de Manning. Com as vazões medidas na saída da caixa coletora foram estimados as rugosidades no canal, a velocidade de cisalhamento, a tensão de cisalhamento e a potência do escoamento. A rugosidade foi determinada pelo coeficiente de Manning ( $n$ ) através da expressão:

$$n = \frac{A.R^{2/3}.I^{1/2}}{Q}$$

onde  $n$  é o coeficiente de rugosidade de Manning ( $s\ m^{-1/3}$ ),  $A$  é a área da seção transversal de escoamento ( $m^2$ ),  $R$  é o raio hidráulico do escoamento ( $m$ ),  $I$  é a declividade ( $m\ m^{-1}$ ) e  $Q$  é a vazão escoada no canal ( $m^3\ s^{-1}$ ).

Com as características hidráulicas das seções transversais do canal e do escoamento foram determinadas a velocidade de cisalhamento, a tensão de cisalhamento e a potencia do escoamento, através das seguintes expressões (Knapen et al., 2007):

- velocidade de cisalhamento:

$$u_* = \sqrt{gRI}$$

- tensão de cisalhamento:

$$\tau = \gamma RI$$

- potência do escoamento:

$$\Omega = \gamma RQ$$

onde  $u_*$  é a velocidade de cisalhamento do escoamento ( $m\ s^{-1}$ ),  $\tau$  é a tensão de cisalhamento produzido pelo escoamento superficial (Pa),  $\Omega$  é a potencia do escoamento ( $kgf\ m\ s^{-1}$ ),  $g$  é a aceleração da gravidade ( $m\ s^{-2}$ ),  $\gamma$  é o peso específico da água ( $N\ m^{-3}$ ),  $R$  é o raio hidráulico do escoamento ( $m$ ) e  $I$  é a declividade ( $m\ m^{-1}$ ).

As características hidráulicas das parcelas foram determinadas a partir dos coeficientes de rugosidades estimados nos canais, nos quais foram medidas vazões e as alturas das lâminas de água escoadas. A altura da lâmina de água foi determinada com a expressão de Braida e Cassol (1999), apresentada para estimativa do coeficiente de rugosidade de Manning. Assim, a equação é expressa por:

$$h = \left( \frac{q \cdot n}{I^{1/2}} \right)^{3/5}$$

onde h é a altura da lâmina de escoamento (m), q é a vazão escoada por unidade de comprimento ( $m^2 s^{-1}$ ), n é o coeficiente de rugosidade de Manning ( $s m^{-1/3}$ ) e I é a declividade da parcela ( $m m^{-1}$ ).

#### 5.3.4 Granulometria e concentração de sedimentos

Os sedimentos coletados nas calhas de coleta foram avaliados em termos da massa total depositada e granulometria. A massa total foi determinada por pesagem do material, após secagem em estufa a temperatura de 50 a 60°C. A análise granulométrica foi realizada pelo método do tamisamento seco (peneiramento) até o diâmetro de 0,62  $\mu m$  (areias) e o da pipeta, para obtenção das frações de silte e argila, descritas pela NBR 7181/84.

A concentração dos sedimentos em suspensão foi determinada através da relação entre a massa de sedimentos e o volume da amostra de água através da caixa coletora. Para isto foram determinados os pesos da amostra, do pote com o sedimento seco em estufa a temperatura de 50 a 50°C e do pote vazio. A diferença entre o pote com sedimento e o pote vazio, fornece a massa de sedimentos. A diferença do peso da amostra e do pote com sedimento fornece o volume de água da amostra.

### 5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.4.1 Simulação em canais

A Tabela 5.1 apresenta as características hidráulicas dos escoamentos nos canais e os esforços exercidos sobre o solo e as partículas transportadas. As vazões variaram entre 1,217 e 9,214 L/s. Valores de vazões nesta ordem de grandeza foram simulados por Franti et al.

(1999) e Cao *et al.* (2009). Os coeficientes de rugosidade de Manning calculados variaram entre 0,015 e 0,040  $s\ m^{-1/3}$ . As variações desde coeficientes são resultantes das heterogeneidades do leito carroçável das estradas. Cantalice *et al.* (2005) obtiveram coeficientes de rugosidades de Manning cerca de duas vezes mais elevados em sulcos de solos agrícolas.

**Tabela 5.1 - Características hidráulicas do escoamento nos canais (Q – vazão, A – área, P – perímetro, R – raio hidráulico, n – coeficiente de rugosidade,  $\tau$  - tensão de cisalhamento,  $u^*$  - velocidade de cisalhamento,  $\Omega$  - potência do escoamento)**

Ensaio	Q (L min <sup>-1</sup> )	A (cm <sup>2</sup> )	P (cm)	R (mm)	n (s m <sup>-1/3</sup> )	$\tau$ (Pa)	$u^*$ (m s <sup>-1</sup> )	$\Omega$ (kg m s <sup>-1</sup> )
1	2,141	1,517	6,967	2,177	0,028	3,38	0,058	7,80E-05
2	5,267	3,304	7,517	4,396	0,04	6,825	0,083	3,90E-04
3	7,421	4,035	7,742	5,213	0,039	8,093	0,09	6,40E-04
4	1,217	1,45	7,65	1,895	0,038	2,246	0,047	3,80E-05
5	4,552	2,6	8,65	3,006	0,025	3,562	0,06	2,30E-04
6	7,215	3,963	7,167	5,53	0,036	6,553	0,081	6,60E-04
7	1,704	1,438	6,25	2,3	0,029	2,443	0,049	6,50E-05
8	5,188	2,588	6,65	3,891	0,024	4,133	0,064	3,40E-04
9	9,214	3,958	7,517	5,266	0,026	5,594	0,075	8,10E-04
10	2,566	1,261	7,076	1,782	0,015	2,185	0,047	7,60E-05
11	4,966	2,286	6,967	3,281	0,022	4,021	0,063	2,70E-04
12	8,127	3,466	7,456	4,649	0,025	5,699	0,076	6,30E-04

A tensão de cisalhamento está associada à desagregação das partículas da estrada pelo escoamento. A tensão de cisalhamento variou entre 2,185 e 8,093 Pa. Knapen *et al.* (2007) mostram que nos ensaios em laboratório e em campo de erosão com escoamentos concentrados, a tensão de cisalhamento tem sido adotada entre 0 e 192 Pa. A taxa de desagregação das partículas ocorre a partir de uma tensão de cisalhamento crítica. Hanson e Simon (2001) determinaram uma relação entre a tensão de cisalhamento crítica a erodibilidade do solo. Cao *et al.* (2009) determinaram os valores de tensão crítica de 2,12 Pa para estradas principais e de 6,68 Pa para estradas secundárias.

A tabela 5.2 apresenta as concentrações médias em suspensão e as cargas de sedimentos transportados em suspensão e por arraste, bem como a granulometria dos sedimentos transportados por arraste.

**Tabela 5.2 - Características dos sedimentos nos ensaios de erosão em canais**

Ensaio	Concentração em suspensão (g L <sup>-1</sup> )	Carga em suspensão (g)	Carga em arraste (g)	Areia	Silte	Argila
				(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )
1	1,308	0,095	38,893	664,8	121	214,2
2	5,341	0,49	82,422	707,71	106	186,29
3	1,965	0,244	15,301	602,27	126,5	271,23
4	2,431	0,046	52,611	736,43	97,5	166,07
5	4,728	0,326	90,703	676,89	81,5	241,61
6	2,333	0,561	77,281	857,7	56,5	85,8
7	7,076	0,19	111,168	816,9	103,5	79,6
8	16,187	1,349	105,128	923,73	72,5	3,77
9	3,03	0,931	76,26	874,19	108	17,81
10	0,313	0,013	121,574	616,68	215,5	167,82
11	2,758	0,196	23,531	695,78	107,5	196,72
12	3,166	0,534	35,58	660,34	190	149,66

As concentrações médias dos ensaios obtidas variaram entre 0,313 e 16,187 g L<sup>-1</sup>. Estas concentrações foram relacionadas com as características hidráulicas. No entanto, os coeficientes de determinação obtidos foram baixos, indicando baixa correlação entre eles.

As cargas de sedimentos transportados em arraste nos ensaios variaram entre 15,301 e 121,574 g. Em suspensão, a carga foi bastante inferior, tendo variado entre 0,013 e 1,349 g. A relação entre elas foi da ordem de 100 vezes. A análise granulométrica foi realizada nas estradas para identificar as diferentes proporções entre areia, silte e argila, pois estes materiais possuem características que podem influenciar diferentemente as condições físicas das estradas. Segundo Santos et al. (1985), a argila possui característica ligante, o que a torna um material fundamental para estradas de terra, enquanto que o silte possui características técnicas pouco satisfatórias que podem ocasionar problemas como baixa capacidade de suporte, formação de atoleiros e excesso de pó.

Segundo Luce (1997), as superfícies das estradas são altamente compactadas, possuindo alta densidade de massa e pouco ou nenhum espaço poroso, excedendo rapidamente a capacidade de infiltração do solo, mesmo em baixas intensidades de chuva. O corte da camada superficial da estrada para regularizar imperfeições que é feito regularmente, gera um material, que desagregado permanece na superfície em toda a extensão da estrada, potencializando a produção de sedimentos ao longo do tempo.



Através da composição granulométrica dos sedimentos transportados em arraste, verifica-se que o percentual de areia é superior a 60%, chegando ao máximo de 92% no ensaio 8. O percentual de argila foi em média de 15%.

As composições granulométricas poderiam ser explicadas pelas tensões de cisalhamento geradas bem como pela potência de escoamento produzida.

#### 5.4.2 Simulação nas parcelas

As intensidades das chuvas simuladas foram da ordem de 136 e 176 mm h<sup>-1</sup>. Fazendo-se uma análise da frequência de ocorrência, através da equação de chuvas intensa mais próxima (estação pluviométrica Rio do Sul, código ANA 02748008), estabelecida por Back (2002), obtêm-se períodos de retorno da ordem de 2,3 e 7 anos.

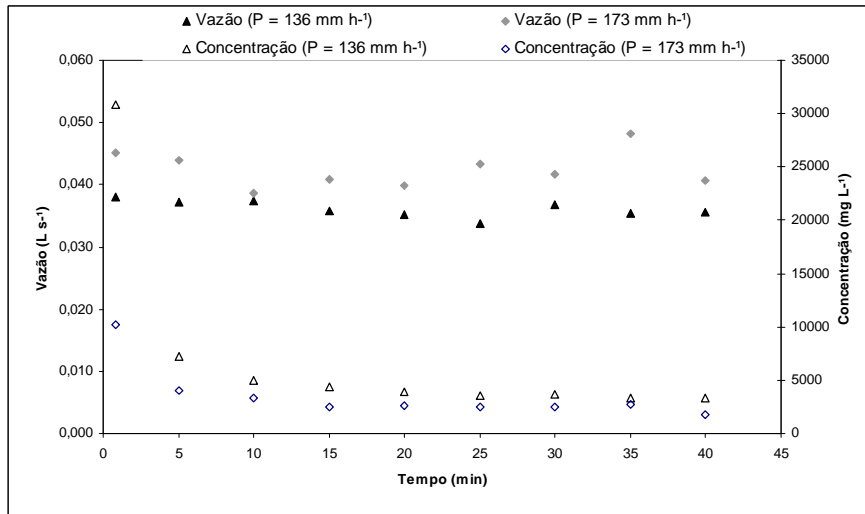
A tabela 5.3 apresenta as características hidráulicas resultantes das chuvas simuladas nas duas estradas. As vazões médias escoadas na estrada principal foram inferiores aquelas da estrada de acesso. No entanto, as lâminas de água escoadas foram superiores da estrada principal. Elas variaram entre 0,454 mm e 0,590 mm. Estes valores são similares aos obtidos por Cassol et al. (2004) que simularam a erosão entressulco de solos agrícolas. Como consequência, as velocidades médias do escoamento na estrada principal foram menores do que na estrada de acesso. Estas diferenças entre as estradas estão associados aos coeficientes de rugosidades empregados para estimativa das lâminas de águas escoadas sobre as parcelas. As tensões de cisalhamento variaram entre 0,636 Pa na estrada de acesso e 0,716 Pa na estrada principal.

**Tabela 5.3. Características hidráulicas médias dos escoamentos nas simulações nas estradas, principal e de acesso**

Características hidráulicas	Estrada Principal		Estrada de acesso	
	P = 136 mm h <sup>-1</sup>	P=173 mm h <sup>-1</sup>	P = 136 mm h <sup>-1</sup>	P=173 mm h <sup>-1</sup>
Vazão (L s <sup>-1</sup> )	0,0361	0,0425	0,0442	0,0432
Altura da lâmina de água (mm)	0,535	0,59	0,461	0,454
Velocidade (m s <sup>-1</sup> )	0,0675	0,072	0,0958	0,0948
Tensão de cisalhamento (Pa)	0,65	0,716	0,645	0,636
Potência do escoamento (kgf m s <sup>-1</sup> )	1,94E-05	2,51E-05	2,04E-05	1,97E-05

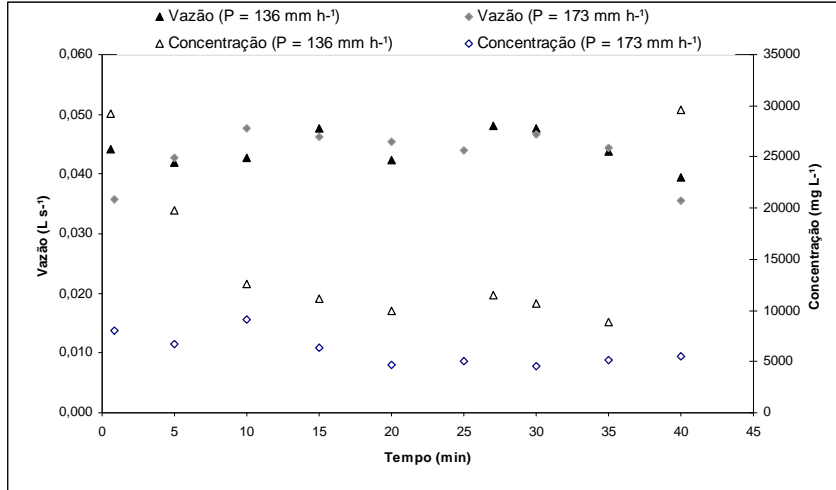
Nas figuras 5.4 e 5.5 são apresentadas as vazões escoadas e as concentrações de sedimentos em suspensão nas estradas principal e de acesso, respectivamente. Na tabela 5.3

são apresentadas as características hidráulicas médias dos escoamentos nas simulações nas estradas principais e de acesso.



**Figura 5.4. Vazões e concentrações na estrada principal**

As vazões escoadas são proporcionais as intensidades de precipitação aplicada. Na estrada principal, as vazões escoadas foram cerca de 8% superiores aquelas das estradas de acesso. As lâminas de água calculadas na estrada principal foram superiores aquelas da estrada de acesso. Elas variaram entre 0,454 e 0,590 mm.



**Figura 5.5. Vazões e concentrações na estrada de acesso**

A diferença nas lâminas de água gerou velocidades mais elevadas na estrada de acesso. Em contrapartida, as tensões de cisalhamento na estrada principal foram pouco superiores aquelas da estrada de acesso. Os valores estiveram compreendidos entre 0,636 e 0,716 Pa.

A tabela 5.4 apresenta as características dos sedimentos gerados com simulação de chuvas nas estradas, principal e de acesso. Observa-se que as concentrações médias dos sedimentos em suspensão na estrada de acesso foram superiores aquelas da estrada principal. Isto implicou em cargas transportadas em suspensão transportadas na estrada principal superiores aquelas da estrada de acesso. Na estrada de acesso a carga em suspensão foi de até 80,726 g, enquanto que na estrada principal, o transporte para a maior intensidade de chuva aplicada foi de 24,13 g.

Quando analisado em termos da carga de arraste, os valores foram completamente invertidos. Na estrada principal, as cargas totais foram superiores aquelas da estrada de acesso. Em ambos os casos, as cargas foram superiores a 540 g. Comparando-se a carga de arraste com aquela em suspensão, observa-se que a primeira é superior a segunda, variando entre 7 e 57 vezes. Na estrada principal a carga de arraste é cerca de 50 vezes superior aquela da carga em suspensão.

A taxa de produção estimada de sedimentos na estrada principal foi de 5,40 e 5,71 t ha<sup>-1</sup>. Na estrada de acesso os valores encontrados foram de 7,95 e 11,59 t ha<sup>-1</sup>. Ramos-Scharrón & MacDonald (2005) conduziram um experimento onde a produção de sedimento foi relacionada com o total de precipitação e a declividade dos segmentos de estradas. Encontraram taxas de produção anual de sedimentos para estradas tipicamente niveladas e não niveladas com 10% de declividade e uma precipitação anual de 115 cm ano<sup>-1</sup> de 110 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 64 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Eles concluíram que a taxa de produção de sedimento para estradas niveladas aumenta exponencialmente com o aumento da declividade do segmento. MacDonald et al. (2001) estudaram a perda de sedimentos em parcelas instaladas em encostas vegetadas, em estradas e em taludes. Nos ensaios de estradas o escoamento superficial ocorreu quando a precipitação excedeu 6 mm. Os autores observaram ainda a produção de sedimentos na estrada e a estimativa foi de 1 a 74 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Destaca-se também que na estrada principal, o percentual de areia foi superior a 64%, enquanto que na estrada de acesso, esta fração foi inferior a 26%. Na estrada de acesso, o silte foi a fração de sedimentos com maior percentual, 62% para a precipitação com intensidade de 136 mm h<sup>-1</sup> e de 53% para a precipitação com intensidade de 173 mm h<sup>-1</sup>.

**Tabela 5.4. Características dos sedimentos produzidos nas estradas.**

Características dos sedimentos	Estrada Principal		Estrada de acesso	
	P = 136 mm h <sup>-1</sup>	P=173 mm h <sup>-1</sup>	P = 136 mm h <sup>-1</sup>	P=173 mm h <sup>-1</sup>
Concentração em suspensão (g L <sup>-1</sup> )	7,238	3,564	15,929	6,117
Carga em suspensão (g)	24,130	13,849	80,726	23,697
Carga de arraste (g)	1158,853	795,280	540,780	571,910
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	674,560	642,380	113,930	260,480
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	269,940	268,620	621,570	534,020
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	55,500	89,000	264,500	205,500

A diferença nas composições granulométricas dos sedimentos transportados pode estar relacionada ao grau de consolidação do leito da estrada. Na estrada principal o leito é mais consolidado e gerou sedimentos mais grosseiros. Na estrada de acesso, o leito é menos consolidado e o transporte foi de sedimentos mais finos. Os resultados da composição granulométrica corroboram com Reid & Dunne (1984) que afirmam que a maior porção do sedimento produzido na superfície das estradas é de tamanho inferior a 2 mm.

Reineck & Singh (1980) observaram que, para materiais grosseiros, o início da movimentação é dependente à velocidade, entretanto para materiais finos ( $d < 0,1$  mm), devido à ação de forças coesivas, essa relação não é válida e a energia necessária para iniciar a movimentação dos grãos aumenta com a redução do tamanho destes. Estes autores relatam ainda que as partículas iniciem o seu movimento quando as forças produzidas pelo escoamento excedem as forças, gravitacional e coesiva, destas partículas. Desta forma, solos argilosos necessitam de mais energia para que suas partículas iniciem a movimentação do que solos arenosos, porém uma vez em movimento, a areia será sedimentada mais rapidamente do que a argila.

## 5.5 CONCLUSÕES

A simulação de chuva e de escoamento sobre superfícies de estradas rurais permite estabelecer algumas conclusões:

1. Estradas principais e de acesso podem produzir quantidades similares de sedimentos em suspensão e por arraste.
2. As cargas de sedimentos transportados por arraste são muito superiores aquelas transportadas em suspensão;

3. A areia constitui a principal fração da composição granulométrica dos sedimentos transportados por arraste nas estradas pelo escoamento concentrado.
4. No escoamento superficial difuso, a maior fração granulométrica varia entre a areia e o silte.

## 6 SEDIMENTOS DEPOSITADOS NA BACIA

### 6.1 RESUMO

A análise dos depósitos de sedimentos em uma bacia pode caracterizar os processos e mecanismos da erosão nas áreas contribuintes. Neste trabalho são analisados os sedimentos depositados a montante de um vertedor misto, com parede delgada, utilizado para medição de vazão na bacia do ribeirão Concórdia, SC. Os sedimentos depositados durante a passagem de ondas de cheias foram coletados, em diferentes pontos, em perfis verticais e no eixo central do depósito. Eles foram analisados quanto à quantidade, a composição e caracterização granulométrica, e composição química. Foram analisados os elementos químicos N, P, K, Mg, Cu, Zn, Cd, Pb, Cr e Fe. Em dois anos foram registrados 24 eventos de cheias, sendo que os sedimentos foram removidos oito vezes neste período. Foram coletadas cinco séries de amostras de sedimentos. A produção específica de sedimentos depositados foi de  $2,53 \text{ kg ha}^{-1}$ . A composição granulométrica média foi de areia grossa (0,6 - 2,0mm), correspondendo a  $465,23 \text{ g kg}^{-1}$ . Ela foi pouco variável entre as séries amostrais. No perfil observou-se que a distribuição granulométrica é assimétrica, sendo os sedimentos de maior diâmetro encontrados nas camadas mais profundas. As concentrações médias dos elementos químicos variaram pouco entre os dois anos analisados. As maiores concentrações foram de Ca e Fe.

**Palavras-chave:** sedimentos, transporte de arraste, qualidade dos sedimentos.

**SUMMARY** - The analysis of sediment deposits in a basin can characterize the processes and mechanisms of erosion in the upward contributing area. In this work the deposited sediments upward of a mixing spillway are analyzed, with thin wall, used for outflow measurement in the Stream Concordia basin. The deposited sediments during the passage of flood waves were collected at different points in vertical profiles and the central axle of the deposit. They were analyzed for the amount, particle size and chemical composition. The chemical elements N, P, K, Mg, Cu, Zn, Cd, Pb, Cr and Fe are analyzed. In two years were recorded 24 events of floods, and the sediments were removed eight times in this period. Five sets of samples of sediments are collected. The specific production of sediments was  $2,53 \text{ kg ha}^{-1}$ . The average particle size was coarse sand (0.6 -2.0 mm), corresponding to  $465.23 \text{ g kg}^{-1}$ . It was less variable between sampling series. The profile showed that the particle size distribution is asymmetric, with the largest sediment diameters found in deeper layers. The average of chemical elements concentrations varied a little bit between two years. The highest concentrations were Fe and Ca.

**Key-words:** sediments, transport drag, grain size

## 6.2 INTRODUÇÃO

O transporte de sedimento nos canais fluviais contribui ao assoreamento dos corpos de águas superficiais, os quais ocorrem nas mais variadas escalas. Carvalho (2000) considera que os reservatórios brasileiros perdem em média 0,5% da sua capacidade de armazenamento de água por ano devido ao assoreamento.

Nos sistemas fluviais, os sedimentos erodidos são oriundos de diferentes processos, podendo vir da erosão laminar nas encostas da bacia hidrográfica e da erosão localizada dos próprios canais de escoamento, sendo depois transportados. As características do escoamento e do canal são juntamente com as características dos sedimentos, os principais fatores que determinam o transporte sólido em um curso de água. Segundo Righetto (1998), genericamente, o transporte sólido pode ocorrer de duas formas, por arraste, em que os sedimentos se movem junto ao fundo e transporte em suspensão, em que os sedimentos se deslocam no seio da massa líquida, a certa distância do fundo. A deposição destes sedimentos ocorre em locais onde a energia do escoamento disponível para o transporte é insuficiente (Righetto, 1998).

O conhecimento da quantidade de sedimentos transportada pelos rios é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região, uma vez que os danos causados pela deposição destes sedimentos dependem da quantidade e da natureza dos mesmos, os quais, por sua vez, dependem dos processos de desagregação, transporte e deposição (Carvalho, 2000).

Segundo Licht (1998) o sedimento de fundo é um material não consolidado, distribuído ao longo dos vales do sistema de drenagem e orientado a partir da interação constante e contínua dos processos de intemperismo e erosão. Desta forma, as amostras de sedimento de rios, lagos e reservatórios representam a integração de todos os processos que ocorrem no ecossistema aquático à montante e têm sido investigadas para elucidar a poluição ambiental atribuída aos elementos-traço e substâncias tóxicas. Para Förstner & Wittman (1981) em ecossistemas aquáticos, o sedimento de fundo representa o principal compartimento de acumulação, reprocessamento e transferência dos elementos-traço.

Em seu trabalho Alves *et al.* (2009), constatou que a capacidade de transporte de determinadas granulometrias de sedimentos pelo fundo do canal, variou em função do tempo cronológico, devido principalmente à alternância entre regimes secos e úmidos. Verificou que em eventos chuvosos de grande intensidade, a capacidade de transporte aumentava ainda

mais, e materiais de diferentes dimensões foram transportados pelo fundo, desde silte e argila até matacões.

Por isso nota-se que o estudo do compartimento sedimento e do compartimento água é de grande importância para a dinâmica fluvial de bacias hidrográficas. O conhecimento de suas características físicas e químicas é fundamental para se proporem planos de manejo adequados à região, objetivando melhorias na qualidade da água e do próprio sedimento, além de atender à legislação vigente e seus usos múltiplos.

Métodos diretos são apresentados por Carvalho (2008) para medição de sedimentos transportados por arraste em rios. Os amostradores coletam os sedimentos depositados nos pontos em que foram instalados. Eles podem modificar as condições de escoamento, perturbando a amostragem e a estimativa da carga transportada. De acordo com Carvalho (2008) a eficiência de retenção dos amostradores varia entre 40 e 100%. Para Cunha & Guerra (1996), a interpretação de resultados granulométricos de sedimentos de leito de rio pode revelar características de erosão, transporte, deposição e também poluição em uma dada bacia. Segundo Cunha (1978), o grau de selecionamento do tamanho dos grãos constitui um critério de avaliação da capacidade e efetividade de transporte. Flúidos de alta intensidade dão origem a depósitos de grande irregularidade textural. Flúidos com características dinâmicas normais, formam depósitos bem selecionados. O tamanho do grão pode também indicar a distância do transporte. Enquanto as partículas mais grosseiras refletem maior proximidade da área fonte, as partículas mais finas indicam maior distância no transporte (Cunha, 1978). Collins & Gao (1994) acrescenta que tendências granulométricas são resultados dos processos do transporte sedimentar como abrasão, transporte seletivo e a mistura de sedimentos de várias fontes. Assim, alguns padrões distintos das variações dos parâmetros granulométricos estão provavelmente associados com as trajetórias dos transportes de sedimentos, demonstrando a probabilidade de usar estes parâmetros para determinar o transporte de sedimento de arraste.

Segundo Mariani (2006), a complexidade do sedimento é muito grande e ainda não se conhece por completo os mecanismos que atuam na coluna sedimentar, o que dificulta o estabelecimento de critérios químicos rígidos para estabelecer a sua qualidade. Thomas & Maybeck (1992) afirmam que quanto menor a partícula maior a capacidade de absorção de metais. A área de superfície específica das partículas controla a capacidade de adsorção de metais a elas. Existem valores químicos de referência (concentrações), que são chamados de valores-guia de qualidade de sedimento (VGQS) que servem como base para se avaliar a qualidade do sedimento quanto à presença de substâncias químicas potencialmente tóxicas à



biota (Chapman *et al.*, 1999). No Brasil não existe uma legislação que regulamente a concentração de metais em sedimentos. Assim, pode-se comparar os teores de metais encontrados nas amostras de sedimentos com os valores-guia de qualidade de sedimentos (VGQS) internacionais. Rotineiramente utiliza-se o Protocolo Canadense, que estipula valores baseados em um banco de dados químicos e biológicos elaborado pelo Conselho Canadense de Ministérios de Meio – Ambiente. O Protocolo Canadense estabelece dois valores-guia de várias substâncias químicas individuais com base em valores de concentração específicos: o TEL (*Threshold Effect Level*) e o PEL (*Probable Effect Level*). Esses valores-guia são baseados nas concentrações totais e na probabilidade de ocorrência de efeitos deletérios na biota em decorrência da sua exposição a esses níveis de concentração. O menor limite (TEL) representa a concentração abaixo da qual raramente são esperados efeitos adversos para os organismos aquáticos. O maior limite (PEL), por outro lado, representa a concentração acima da qual são frequentemente esperados efeitos adversos para os organismos (Mozeto *et al.*, 2003).

Neste trabalho, são analisados todos os sedimentos que formaram depósitos a montante de um vertedor utilizado para medição de vazão. As distribuições granulométricas, as quantidades coletadas bem como a composição química fornecem uma informação completa sobre os sedimentos gerados em uma bacia com uso da terra preponderantemente agrícola.

### 6.3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo realizou-se na bacia do Ribeirão Concórdia, localizada no município de Lontras, SC. O ponto de análise é a seção fluviométrica onde foi construído um vertedor para medição de vazão (Figura 6.1). Ele é do tipo misto, onde a parte inferior é triangular e a parte superior é retangular, com parede delgada, estando equipado com um sensor de nível de bóia, com registro automático, a intervalos de cinco minutos, armazenados em um datalogger. A área de drenagem da bacia contribuinte é de 2,36 km<sup>2</sup>. O uso e ocupação da terra é composto de cerca de 46% de cobertura florestal (nativa e implantada), 18% de pastagens e 36% de agricultura (milho, fumo e hortaliças).

No ponto onde se construiu o vertedor, o lado esquerdo o terreno é bastante íngreme, apenas com vegetação rasteira. No lado direito, o curso de água está afastado da estrada, em média de 30 metros e protegido por vegetação densa. A montante do ponto de coleta, o terreno também



**Figura 6.1 – Vertedor misto na Bacia Ribeirão Concórdia**

é protegido pela mesma vegetação. O solo da bacia contribuinte é o Argissolo vermelho-amarelo alítico típico. Segundo Bacic *et al.* (2005), a área apresenta forma bastante peculiar e ordenada face às intensas modificações ocorridas no decorrer da formação do relevo atual. Pode apresentar declividade superior a 20%. As diferentes declividades, a alternância de áreas erosionais e colúvias associadas aos comprimentos de rampa variáveis, determinou a forma e o comportamento desta subpaisagem. A bacia está sobre um conjunto de litologias, do Grupo Tabuleiro e do Grupo Itajaí (Aumond & Scheibe, 1995). Segundo Cursio *et al.* (2006), a bacia ocupa em sua maior parte a Unidade Geomorfológica Patamares do Alto Itajaí, sub-grupo Itararé, especialmente a Formação Rio do Sul, onde predominam folhelhos, argilitos, diamictitos e siltitos, bem como Grupo Tabuleiro (Suíte Intrusiva Subida) e Itajaí (vulcano-sedimentares). A Formação Suíte Intrusiva Subida, de pouca expressão em termos de ocorrência na área tem sua localização limitada à porção noroeste da microbacia, junto aos divisores d'água. Constituem-se de granitos circunscritos, intrusivos, alcalinos e per-alcalinos com colorações avermelhadas, granulação média a grosseira (Bacic *et al.*, 2005).

Com a instalação do vertedor, ocorreu uma tranquilização de fluxo e redução dos efeitos da turbulência no local, reduzindo assim a capacidade de transporte do escoamento, proporcionando a deposição dos sedimentos à montante do mesmo. Durante a ocorrência de ondas de cheias, depósito de sedimentos é formado, abrangendo extensão de cerca de 17 m de

comprimento e cerca de 3m de largura. Quando o depósito alcança determinada altura, uma operação manual é executada, de modo que os sedimentos sejam removidos, através do descarregador de fundo instalado sob o vertedor. A figura 6.2 demonstra o depósito de sedimentos no leito do rio, a montante do vertedor. Antes do início desta operação, é determinada a magnitude do depósito, através de levantamento topográfico simplificado, amostras de sedimentos são coletadas, ao longo do eixo do depósito em três diferentes pontos distanciados cerca de 4 metros um do outro, e no perfil vertical, em até três profundidades (0-20 cm; 20-40 cm e 40-60 cm). As amostras são encaminhadas para laboratório onde os sedimentos são qualificados quando a composição granulométrica, características químicas e quantificados volumetricamente.



**Figura 6.2 – Depósito de sedimentos formado à montante do vertedor**

No período compreendido entre de março de 2008 a outubro de 2009 foram coletadas sete séries amostrais. Foram coletadas cinco amostras de sedimentos. Neste período foi registrada a passagem de 24 ondas de cheias.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Engenharia Ambiental da Universidade Regional de Blumenau (FURB) e no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). O material foi submetido à secagem a temperatura ambiente, separadas, sendo uma parte destinada para as análises químicas, outra para a avaliação mineralógica e granulométrica e uma terceira estocadas como contra-provas. As análises químicas e a análise física textural foram feitas no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da UNIOESTE. Os parâmetros Ca, Mg, K, Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb, Cr e Al foram analisados pelo método de Digestão nitro-perclórica e

determinação em Eaa-Chama; o P total foi determinado pelo método de Digestão sulfúrica e determinação por UV-Vis e o N total, pelo método de Digestão sulfúrica e determinação por Kjeldahl. As amostras foram submetidas a análises sedimentológicas, tais como, peneiramento, para separar a fração grosseira da fração textural e pipetagem. A técnica utilizada consiste na separação das principais classes texturais dos sedimentos grossos e finos. Para os sedimentos grossos ( $F > 0,062$  mm), empregou-se um conjunto de peneiras segundo abertura proposta na NBR 7181/84. E foram classificados de acordo com a NBR 6502/95. Para os sedimentos de granulometria fina ( $FF < 0,062$  mm), empregou-se o método de pipetagem, baseado na velocidade de sedimentação das partículas, expressa na Lei de Stokes. Segundo essa Lei a velocidade de sedimentação das partículas é diretamente proporcional à diferença de densidade entre a partícula e o fluido, à esfericidade e ao quadrado do diâmetro das partículas, e inversamente proporcional à viscosidade do fluido.

As amostras destinadas ao peneiramento foram lavadas, e posteriormente secas ao ar, e não em estufa como recomendado, devido à alta incidência de folhelhos ardiosianos nas amostras que são facilmente quebrados, quando em contato com o calor. Depois de secas, as amostras foram pesadas, e passadas em um conjunto de peneiras com malhas de aberturas diferentes. As peneiras foram dispostas em grão-decrescência, ou seja, as malhas de maior abertura situam-se em cima e as de menor abertura estão na parte inferior do conjunto. O intervalo utilizado foi de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 12,7 mm, 9,5 mm, 6,3 mm, 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm, separados em dois conjuntos de peneiras. Estes conjuntos, segundo a recomendação deveriam ser colocados em agitador mecânico, por um período de tempo fixo. Porém devido à fragilidade das amostras, o peneiramento foi feito manualmente. A quantidade de amostra retida em cada peneira foi pesada e, posteriormente, transformada em volume do peso total peneirado, que foi usado para representar a distribuição granulométrica.

As amostras destinadas a análise granulométrica de finos, foi passada pela peneira de 0,062 mm. Após o peneiramento, é separada uma alíquota de cerca de 30 gramas de material que ficou retido na peneira. Depois, ainda sobre a peneira com malha de 0,062 mm, a alíquota foi lavada com auxílio de água destilada, afim de lavar o sedimento. O produto da lavagem foi ser recolhido em uma proveta de 1000 ml e o volume recolhido aferido a 1000 ml na própria proveta. Em seguida foi coletado o material em intervalos de tempo diferente, num volume igual a 5 ml a alturas determinadas da proveta. Colocou-se o material pipetado em um béquer de 50 ml, pré-pesado, e levado à estufa. Depois de seco, o béquer foi novamente

pesado, e pela diferença se obtém o peso do material fino. Este procedimento foi repetido para todas as pipetagens.

#### 6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 6.1 apresenta os parâmetros característicos dos eventos de produção dos depósitos a montante do vertedor. No período de 02/11/2007 a 11/10/2009 foram realizadas 8 limpezas dos depósitos de sedimentos. Os intervalos de tempo entre cada limpeza variou de 11 a 203 dias. No primeiro intervalo de tempo, os sensores de nível não estavam instalados, não permitindo assim medir as vazões escoadas. Em cada intervalo de tempo, a vazão média variou entre 0,032 e 0,209 m<sup>3</sup>/s, sendo a vazão máxima de 3,270 m<sup>3</sup>/s, registrada no dia 16/01/2009. Os volumes de sedimentos depositados foram superiores a 12 m<sup>3</sup>. No período de cerca de 2 anos, foram depositados 238,94 m<sup>3</sup>, com produção específica sedimentos de 2,53 t ha<sup>-1</sup>. Comparando-se os volumes escoados totais e os escoados superficialmente, verifica-se que os coeficientes de escoamentos superficiais são elevados, da ordem de 0,23. Os volumes de escoamento superficial apresentam correlação razoável com os volumes de sedimentos depositados. O coeficiente de determinação é da ordem de 0,49.

**Tabela 6.1. Quantificações hidrológicas e sedimentológicas dos eventos**

Evento	Intervalo de tempo	Vazão		Escoado total	Volume		Produção específica de sedimentos
		Média	Máxima		Escoado superficial	Sedimentos depositados	
		d	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>		m <sup>3</sup>	t ha <sup>-1</sup>	
02/11/07-25/03/08	144					33,96	0,36
19/04/08-14/10/08	203	0,209	1,224	1.750.378	87.800	34,26	0,36
14/10/08-25/10/08	11	0,179	0,510	169.776	39.906	19,25	0,20
25/10/08-06/12/08	42	0,085	1,270	95.558	53.784	12,04	0,13
06/12/08-15/01/09	40	0,032	0,368	114.739	10.232	31,90	0,34
16/01/09-07/03/09	51	0,058	3,270	254.016	59.410	21,94	0,23
07/03/09-29/08/09	175	0,054	1,664	799.632	115.250	38,61	0,41
29/08/09-11/10/09	43	0,094	2,228	456.797	145.101	46,98	0,50

Na tabela 6.2 são apresentados os valores médios anuais dos sedimentos coletados no depósito a montante do vertedor, em dois eventos em 2008 e em três eventos em 2009. Nota-se que nos dois anos observados, para todos os pontos coletados e diferentes profundidades, os sedimentos são constituídos principalmente por areia grossa, que segundo a NBR 6502/95

inclui partículas que variam de 0,6 a 2,0 mm de diâmetro. Os valores de areia grossa encontrados variaram de cerca de 30% a 60% dos valores das amostras.

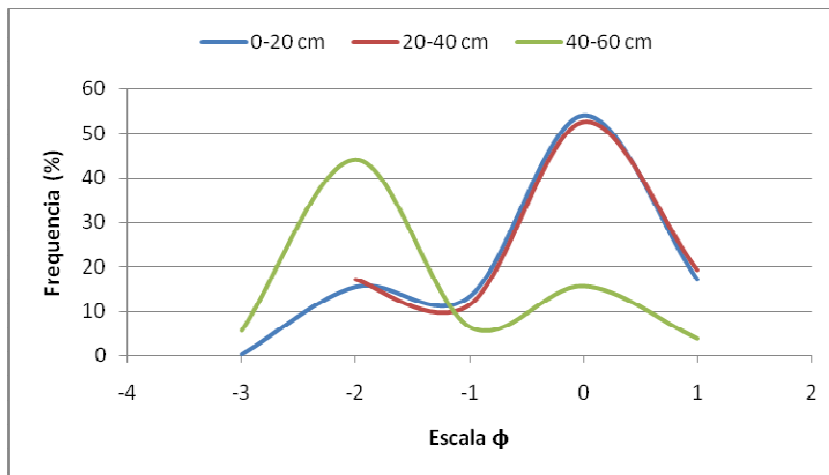
Os dados da tabela 6.2, que apresentam uma grande desuniformidade em tamanhos de grãos, corroborando com a afirmação de Cunha (1978). Esta desuniformidade provavelmente se deve ao fato das coletas serem feitas após eventos de cheia, ocasionados geralmente por chuvas de altas intensidades.

Segundo Dias (2004), a análise das dimensões das partículas é importante, pois permite deduzir indicações preciosas, como a proveniência (designadamente sobre a disponibilidade de determinados tipos de partículas e sobre as rochas que lhes deram origem); o transporte e os ambientes deposicionais.

**Tabela 6.2. Composição granulométrica, média anual, dos sedimentos grosseiros nos pontos amostrais do depósito (g kg<sup>-1</sup>)**

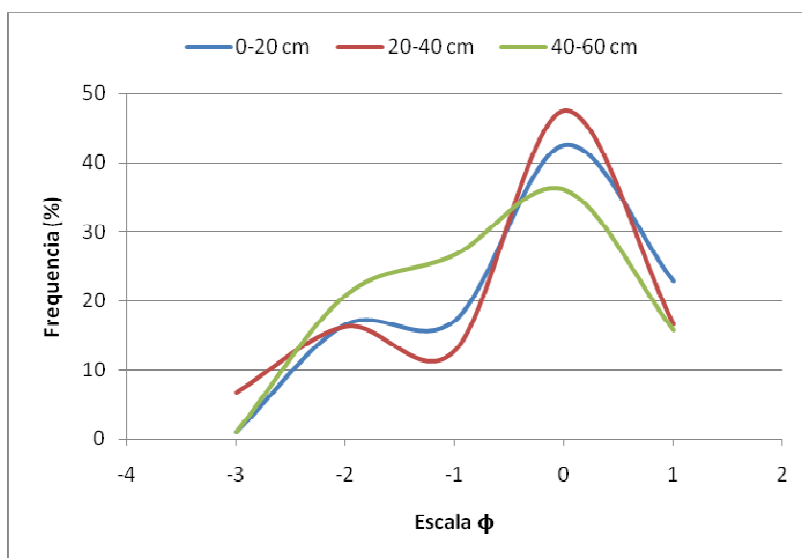
Amostra	Areia média		Areia grossa		Pedregulho fino		Pedregulho médio		Pedregulho grosso	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
N1 0-20	236,66	315,61	572,96	382,43	138,94	161,96	51,40	136,90		3,10
N1 20-40	227,79	41,86	509,43	593,02	72,50	130,32	190,27	163,02		71,78
N1 40-60	52,09	172,45	479,62	295,97	58,89	266,22	406,62	262,24	2,77	3,11
N2 0-20	194,07	251,65	592,57	432,61	122,85	210,62	90,51	102,72		2,40
N2 20-40	199,96	380,72	529,93	409,21		38,43		76,61		95,02
N2 40-60	25,32	140,57	316,24	424,97	71,78	266,23	476,16	152,52	110,5	14,73
N3 0-20	93,06	103,88	549,28	473,35	155,32	146,64	202,34	268,82		7,31
N3 20-40	151,79	76,25	538,34	422,26	156,79	216,26	153,07	248,61		36,62
N4 0-20	163,31	240,87	440,89	411,08	115,91	166,29	275,65	153,79	4,25	27,96

A figura 6.3 demonstra que a curva de distribuição granulométrica em 2008 em todos os níveis amostrados é assimétrica. Nos dois primeiros níveis (0-20 e 20-40cm) a distribuição é similar, mas no terceiro nível amostrado a assimetria é oposta. Constata-se que há uma tendência de grânulos de menor diâmetro ocorrerem com maior frequência nos níveis superiores, enquanto que sedimentos grosseiros encontram-se em maior profundidade. Soares et al. (2004) associam também um maior acúmulo de material fino na camada superficial do sedimento depositado no fundo, com baixas vazões. Os autores observaram ainda que quando em condições de maior vazão estes sedimentos são facilmente mobilizados e transportados.



**Figura 6.3.** Curva de frequência de distribuição granulométrica média, nas três cotas amostradas no período de 2008, onde escala  $\phi$ , =  $-\log_2 d$  (Krumbein, 1934)

A figura 6.4 mostra a curva de distribuição granulométrica no ano de 2009. Neste período as curvas foram similares, mas ainda assim com uma leve tendência de ocorrer sedimentos com maiores diâmetros nos níveis mais profundos amostrados.



**Figura 6.4.** Curva de frequência de distribuição granulométrica média, nas três cotas amostradas no período de 2009, onde escala  $\phi$ , =  $-\log_2 d$  (Krumbein, 1934)

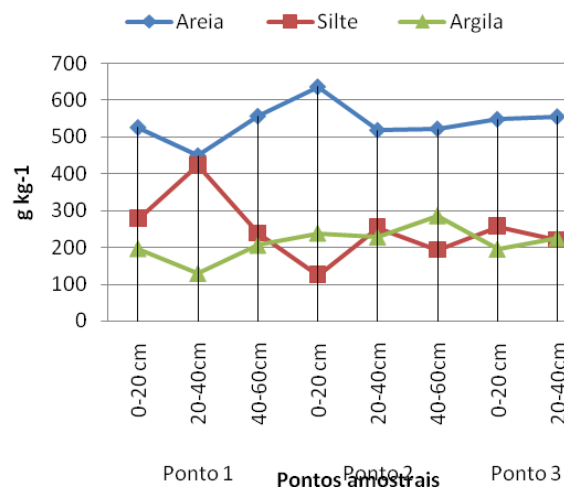
As medidas de seleção traduzem a dispersão de tamanho das partículas de cada lado da mediana (valor do diâmetro a 50% da distribuição granulométrica). De acordo com o proposto

por Folk & Ward (1957), o desvio padrão descreve a dispersão em relação à média, ou seja, o grau de seleção do sedimento. Assim, os valores de desvio padrão ( $\sigma$ ) indicam se a amostra possui grau de seleção muito bom, bom, moderado, mal, muito mal ou extremamente mal selecionado. Os valores de grau de seleção mostram uma totalidade de sedimentos pobremente selecionados (Tabela 6.3), comprovando a heterogeneidade nas características granulométricas das amostras.

**Tabela 6.3. Grau de selecionamento das amostras coletadas em 2008 e 2009**

Amostra	Média		Desvio Padrão	
	2008	2009	2008	2009
N1 0-20	200,64	200,00	200,29	149,48
N1 20-40	251,35	200,00	186,01	158,64
N1 40-60	151,72	199,90	168,23	130,95

Na fração fina do sedimento, em todos os pontos amostrados, e nas diferentes profundidades, a quantidade de areia foi superior. Seguindo o mesmo padrão dos sedimentos grosseiros amostrados, apresentados na figura 6.5, pode-se observar a granulometria (textural) do sedimento coletado no vertedor após um evento de cheia.



**Figura 6.5. Granulometria dos sedimentos ( $\text{g kg}^{-1}$ ), em coleta feita no dia 20/10/2009**

Carmo *et al.* (2003) destacam que em épocas chuvosas, a porcentagem de areia aumenta em relação aos outros diâmetros. Em todos os pontos amostrados, e em todas as



profundidades de coleta, a fração areia foi, em média, em maior quantidade,  $538,81 \text{ g kg}^{-1}$ . Os resultados médios anuais obtidos estão apresentados na tabela 6.4.

**Tabela 6.4 – Composição média anual dos sedimentos do depósito ( $\text{g kg}^{-1}$ )**

Ano	Areia	Silte	Argila
2008	485,85	289,20	224,93
2009	517,80	260,39	221,82

Christofolletti (1980) afirma que as partículas maiores de sedimento são transportadas por saltação, deslizamento ou rolamento e seu deslocamento no leito é fortemente influenciado pelo fluxo do leito, ou seja, partículas maiores precisam de mais energia para serem transportadas. No ponto onde as coletadas foram feitas, o vertedor diminui a velocidade da água, e conseqüentemente reduz o fluxo e transporte de sedimentos. Portanto, talvez por este motivo a granulometria média encontrada não tenha sido de grandes diâmetros. A quantidade de silte e argila, que são facilmente transportadas por suspensão, foram menores, como se esperava.

Na bacia, a montante do ponto onde está localizado o vertedor, existe duas áreas de contribuição de sedimentos. A estrada geral foi construída ao longo do Ribeirão em grande extensão da bacia, se tornando uma potencial fonte de sedimentos. E outra área de contribuição é uma cascalheira formada predominantemente por afloramentos rochosos, associado a solo raso, com grande quantidade de folhelhos ardósios escuros, que se desprendem facilmente. A estrada recebe constantemente cargas de agregados, aplicado pela prefeitura municipal em ações de manutenção. Estes agregados são atualmente provenientes da localidade de Salto Pilão, em Ibirama. Nesta região, segundo Cursio et al. (2006), ocorrem granitos e outras rochas ígneas intrusivas, fazendo parte da Formação Suite Intrusiva Subida.

Para um melhor entendimento de possíveis fontes de sedimentos, foi feita a caracterização petrológica dos sedimentos grosseiros das amostras. O resultado obtido está apresentado na tabela 6.5.

Na região da bacia do Ribeirão Concórdia existe algumas áreas de formações de origem magmática, ou seja, rochas como basalto e granito. Entretanto, as quantidades deste tipo de rocha que foram encontradas nas amostras coletadas no depósito, provavelmente não são provenientes destas formações, devido ao diâmetro encontrado nas amostras ser muito menor àqueles encontrados naturalmente na formação. Estes valores se justificariam pela

quantidade deste material que é lançado periodicamente para manutenção das estradas vicinais da bacia.

**Tabela 6.5. Caracterização petrológica anual dos sedimentos grosseiros, em g kg<sup>-1</sup> de amostra**

Ano	Tipo de Rocha			
	Magmática	Sedimentar	Metamórfica	Rejeitos
2008	233,65	653,96	93,97	18,42
2009	139,48	759,66	79,25	21,61

Na tabela 6.6 são apresentadas as concentrações dos metais analisados nas amostras de sedimentos. São apresentadas as concentrações médias obtidas em cada nível amostrado, com as amostras coletadas nos anos de 2008 e 2009. Nota-se que as maiores concentrações médias dos elementos analisados encontram-se nas profundidades de 20 – 40 cm e 40 – 60 cm. Estes elementos são facilmente adsorvidos pelas partículas de argila. Devido ao tamanho reduzido, as partículas de argila são transportadas em suspensão, então o contato da primeira camada amostral (0 – 20 cm) com a coluna de água pode ser responsável pelas menores concentrações destes elementos no primeiro nível. Comparando-se as concentrações médias dos elementos nos dois períodos de amostragens, observa-se que as médias foram semelhantes entre as amostras. Para este conjunto de dados foi aplicado o teste estatístico ANOVA, e não houve diferença estatística com nível de significância de 0,05. Apenas no primeiro nível amostral nota-se que as concentrações de todos os elementos foram superiores no primeiro ano de coleta quando comparadas com as concentrações dos mesmos elementos no ano seguinte.

**Tabela 6.6. Concentração dos metais analisados nas amostras de sedimento**

Nível amostral	Período	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Fe
		g Kg-1					mg Kg-1					
0 – 20	2008	0,59	0,71	9,57	24,90	10,60	48,33	110,00	ND	37,00	16,67	2742,19
	2009	0,49	0,72	8,28	30,82	10,81	34,11	105,67	ND	40,11	13,67	2537,58
20 - 40	2008	0,78	0,76	10,36	27,27	11,34	47,11	121,17	ND	37,78	22,83	2802,65
	2009	0,39	0,81	9,03	28,41	12,13	43,06	124,39	ND	43,72	15,11	2567,39
40 - 60	2008	1,53	0,61	10,33	13,75	8,75	35,25	90,75	ND	12,25	33,25	3124,76
	2009	0,73	0,72	9,08	34,25	12,30	41,17	116,75	ND	37,00	14,58	2639,30

Os elementos N, P, K, Ca, Mg tem sua concentração vinculada à característica da ocupação agrícola na bacia (Minella et al. 2007). Os elementos P e K apresentam grande afinidade pelas partículas de argila e óxidos, ficando facilmente adsorvido a elas. Sua variabilidade está associada com as práticas de fertilização dos solos. Ainda segundo Minella et al. (2007), as concentrações de Ca, também estão relacionadas com a variabilidade do uso do solo na bacia. Sendo o Ca aplicado nas lavouras como calcário, para regular o pH do solo. Alguns metais pesados também estão vinculados com a agricultura, pois fazem parte da formulação de muitos fungicidas, herbicidas e inseticidas, mas podem estar também relacionados a outros tipos de poluição.

O valor de Cd, não apresenta valor considerável em todas as amostras analisadas. Com relação aos metais contidos nos VGQS empíricos TEL/PEL (figura 6.6), o Pb teve as médias pouco acima dos valores de concentração química para os quais a toxicidade é pouco provável ( $35 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Os valores de concentração de Cu também se mantiveram pouco acima dos valores de pouca toxicidade ( $35,7 - 197 \text{ mg kg}^{-1}$ ), na maioria das amostras. O Cr teve seus valores médios encontrados bem abaixo dos valores que são considerados para toxicidade pouco provável ( $37,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ). O Zn teve comportamento semelhante ao Cr, ficando abaixo dos valores de toxicidade pouco provável em quase todas as amostras, exceto uma amostra de 2009, na cota de 20 – 40 cm de profundidade. O valor encontrado foi  $124,39 \text{ mg kg}^{-1}$ , o valor de TEL para este elemento é de  $123,1 \text{ mg kg}^{-1}$ .

VGQS	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni
TEL	0,6	35	35,7	123	18
PEL	3,5	91,3	197	316	36

**Figura 6.6. Valores – guia de qualidade de sedimentos canadense ( $\text{mg kg}^{-1}$ )**

Apesar de não fazer parte dos valores-guia, o Fe merece ser mencionado, devido às altas concentrações encontradas ( $25,37$  a  $31,24 \text{ g kg}^{-1}$ ). Estes valores podem estar relacionados aos sedimentos que são lançados nas estradas para manutenção das mesmas, onde predominam essencialmente rochas magmáticas (basálticas), ricas em óxidos de Ferro, e acabam sendo transportados para o leito do rio por conta da erosão.

## 6.5 CONCLUSÕES

As características físico-químicas dos sedimentos demonstraram que este compartimento está em constante atividade com o meio aquático, podendo influenciar diretamente a qualidade do meio.

Os sedimentos depositados a montante do vertedor, para todos os pontos coletados e diferentes profundidades, apresentam composição granulométrica predominantemente de areia grossa. Apresentam composição mineralógica de rocha que não existe na bacia, indicando que uma fonte de origem pode ser as estradas que recebem material durante as operações de manutenção.

Os elementos químicos não apresentaram variação média anual. Eles encontram-se pouco acima dos valores guias ou valores inferiores das concentrações de metais em sedimento que são considerados de toxicidade pouco provável.

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando o período de análise e as estações monitoradas, conclui-se:

A partir das características físicas e químicas do solo e sedimento encontradas na bacia, pode-se afirmar que a granulometria dos sedimentos transportados por arraste tem diâmetro maior do que o solo da bacia. E as concentrações de elementos químicos encontradas nestas amostras de sedimento são superiores as encontradas no solo, sendo Zn, Cd, Mn, caracterizadores de ambiente bentônico poluído.

As variações nas concentrações de sedimentos nos quatro pontos monitorados não evidenciaram uma tendência espacial, que pudesse explicitar um processo de mudança de escala. As maiores concentrações de sedimentos durante o período amostrado foram encontradas no ponto 2, provavelmente influenciada pelo local de instalação do amostrador de nível ascendente, situado bem próximo a estrada de terra.

Em se tratando de estradas, as cargas de sedimentos transportados por arraste são muito superiores aquelas transportadas em suspensão sob condição de chuva simulada. A areia é a fração granulométrica deslocada em maior quantidade pelo transporte por arraste. No escoamento superficial verifica-se maior incidência de partículas da fração silte e argila.

Os sedimentos depositados a montante do vertedor provenientes do transporte por arraste, são formados principalmente por partículas de granulometria de fração areia grossa (0,6 – 2,0 mm). A partir da caracterização petrológica dos sedimentos grosseiros nota-se uma quantidade considerável de rochas de origem magmáticas, não originárias da bacia. Indicando que este material pode estar sendo trazido para dentro da bacia através da manutenção das estradas de acesso.

Para diminuir os impactos ambientais, econômicos e sociais gerados pelos processos erosivos, é necessário investir em planos de manejo das microbacias, principalmente nas regiões de fluxo de erosão laminar proveniente das áreas com intervenções antrópicas, que são as principais fontes de sedimento dos canais fluviais. Com a prevenção e mitigação dos processos erosivos já iniciados, o desprendimento de partículas e transporte diminui e, conseqüentemente, as cargas de sedimentos nos canais fluviais também irão reduzir.

Para aprofundamento deste trabalho é importante que se faça o desenvolvimento de análises mais detalhadas por tipo de uso da terra identificado na bacia, para diferentes épocas do ano,

podendo-se utilizar para este fim, simuladores de chuva. Estes dispositivos experimentais permitem simular eventos pluviométricos com diferentes intensidades, podendo ainda ser quantificados as energias das gotas de chuvas aplicadas.

Como sugestão de continuidade desta pesquisa sugere-se que sejam feitos estudos mais detalhados envolvendo os diferentes usos do solo da bacia, afim de melhor caracterizar a produção e transporte de sedimentos, identificando suas possíveis fontes.

Outra sugestão é que os resultados alcançados com esta, e com futuras pesquisas sejam levados às pessoas que fazem uso do solo e recursos hídricos da bacia, para que ações de manejo possam ser tomadas a fim de minimizar os danos e prejuízos causados pela erosão no solo e água da bacia.

## 8 REFERÊNCIAS

ALAM, S. **Estudos Hidráulicos e de Sedimentos** - Relatório Preliminar - Projeto Rio Madeira, Ministério de Minas e Energia, Brasília 47p., 2007.

ALVES, R. R., SERATO, D. S., CAMPOS, E. H., SILVA, J. F., RODRIGUES, S. C. A **Ocorrência de Voçoroca e a Avaliação Técnica de seus Impactos**. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. UFV. Rio Claro. 2009

ARAÚJO, N. B. ; TEJERINA-GARRO, F. L. **Influence of environmental variables and anthropogenic perturbations on stream fish assemblages, Upper Paraná River, Central Brazil**. *Neotrop. ichthyol.* v.7, n.1, p. 31-39, 2009.

ARRUDA, P.R.R. **Uma contribuição ao estudo ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu**, Viçosa, Minas Gerais. Viçosa: UFV, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502. Rochas e Solos**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984b.

AUMOND, J. J.; SCHEIBE, L. F. **Correlação entre unidades geomorfológicas e distritos de ocorrência de argilas em Santa Catarina**. Florianópolis, SC. Geosul n° 19/20, Ed. UFSC. 1995.

BACIC, I. L. Z. ; LAUS NETO, J. A.; CHANIN, Y. M. A.; PANDOLFO, C.; HAMMES, L. A.; DORTZBACH, D. **Inventário de Terras – Microbacia Concórdia. Programa de Recuperação Ambiental e de Apoio ao Pequeno Produtor Rural – EPAGRI – Santa Catarina**. 2005

BACK, A. J. **Chuvas intensas e chuvas de projeto de drenagem superficial no estado de Santa Catarina**. Epagri Florianópolis – SC (Epagri Boletim Técnico, 123), 2002, 65 p.

BERTOLINI, D.; DRUGOWICH, M. I.; LOMBARDI NETO, F.; BELINAZZI, Jr, R. **Controle de Erosão em Estradas Rurais**. Boletim técnico Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Campinas. 1993. 37p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F., **Conservação do solo**. 4 ed. São Paulo: Ícone, 1993 355p.

BLACK, T. A., LUCE, C. H. **Sediment production from forest roads in western Oregon**, Water Resouces Research, Vol. 35, N°. 8, P 2561–2570, USDA Forest Service, Idaho, 1999.

BLÖSCHL, G.; SIVAPALAN, M. (1995). **Scale issues in hydrological modelling: A review**. Hydrological Processes, v.9, n. 3-4 , p.251–290, 1995.

BLÖSCHL, G. (2001). **Scaling in hydrology**. Hydrological Processes, v.15, n.4, p.709-711, 2001.

BRAIDA, J.A.; CASSOL, E.A. **Relações de erosão em entressulcos com o tipo e a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.711-721, 1999.

BRAMORSKI, J., **Avaliação da Perda de Solo e Fertilizantes Nitrogenados por Erosão em Áreas Agrícolas: Uma Abordagem Integrada e Experimental Dos Fatores Intervenientes no Processo**. Tese de Doutorado, USP, São Carlos, 2007

BRANCO, N. **Avaliação da Produção de Sedimentos de Eventos Chuvosos em uma Pequena Bacia Hidrográfica Rural de Encosta**, Dissertação de Mestrado, UFSM, Santa Maria, 119 p. 1998.

BROOKS, K.N.; FFOLIOTT, P.F.; GREGERSEN, H.M. & THAMES, J.L. **Hydrology and the management of watersheds**. Ames, Iowa State University Press, 1991. 392p.



CAMPBELL, G.S. **Soil physics with basic – transport models for soil/plant systems.** Developments in Soil Science 14, Amsterdam, Elsevier, 150 p, 1985.

CANTALICE, J.R.B; CASSOL, E. A.; REICHERT, J.M.; BORGES, A.L.O. **Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo franco-argilo-arenoso.** Rev. Bras. Ciênc. Solo. v.29, n.4, p. 597-607. 2005.

CAO, L.; ZHANG, K.; ZHANG, W. **Detachment of road surface soil by flowing water.** Catena. v.76, n. 2, p.155-162. 2009.

CARMO, M. S., BOAVENTURA, G. R., ANGELICA, R. S., **Estudo Geoquímico de Sedimentos de Corrente da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto – Brasília, DF.** Geochim. Brasil., 17(2) p. 106 – 120, 2003.

CARVALHO, A.R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V.L. **Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água.** *Quím. Nova.* vol.23, n.5, p. 618-622, 2000.

CARVALHO, N. O. **Hidrosedimentologia Prática.** Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e Eletrobrás, Brasília. 2ª Ed. 2008.

CARVALHO, N.O. **Assoreamento de Reservatórios – Conseqüências e Mitigação dos Efeitos.** In: IV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Santa Maria, 22p. 2000.

CARVALHO, D. F de; MONTEBELLER, C A.; CRUZ, E. S. da; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. **Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada,** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.3, p.385-389, 2001 Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.

CASSOL, E. A.; CANTALICE, J.R.B; REICHERT, J.M.; MONDARDO, A. **Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais.** Pesq. agropec. bras., v.39, n.7, p.685-690. 2004.

CASSOL, E. A. e LIMA, V. S. de. **Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo**, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 1, p. 117-124, 2003.

CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J.A.; MARIA, I.C.; VIEIRA, S.R. & DECHEN, S.C.F. **Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo**. R. Bras. Ci. Solo, 10:293-297, 1986.

CHAPMAN, P. M.; WANG, F.; ADAMS, W. J.; GREEN, A. **Appropriate applications of sediment quality values for metals and metalloids**. Environmental Science and Technology, v.33, n. 22, p. 3937 – 3941. 1999.

CLAESSEN, M. E. C. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997.

COLLINS, A.L., WALLING, D.E. **Selecting fingerprint properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins**. Journal of Hydrology., 261, p.218-244, 2002.

COLLISCHONN, W. (2001) **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CORBI, J. J.; STRIXINO, S. T., SANTOS, A. dos, DEL GRANDE, M. **Diagnóstico Ambiental de Metais e Organoclorados em Córregos Adjacentes a Áreas de Cultivo de Cana-de-Açúcar**, Química. Nova, v.29 n°. São Paulo, 2006.

CORRÊA, C.; DEDECEK, R. **Erosão real e estimada através da rusle em estradas de uso florestais, em condições de relevo plano a suave ondulado**. Floresta, Curitiba, 39 (2), p. 381-391, 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: E. Blücher, 1981

CROSBIE, B.; CHOW-FRASER, P. **Percentage land use in the watershed determines the water and sediment quality of 22 marshes in the Great Lakes basin.** Can. J. Fish. Aquat. Sci. 56(10): p.1781–1791, 1999.

CUNHA, S. B. **Ambiente e Características Hidrológicas da Bacia do Alto Rio Grande.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da UFRJ. 1978. Nova Friburgo.

CUNHA, S. B. & GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia: exercícios, técnica e aplicação.** Ed. Bertrand Brasil. 1996. Rio de Janeiro. RJ.

CUNHA, S. B., GUERRA, A. J. T., **O início do processo erosivo,** In.: Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1999.

CUNHA, D. G. F.; CALJURI, M. C. e MIWA, A. C. **Estudo do sedimento do rio Jacupiranguinha, Vale do Ribeira, SP.** Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC. Florianópolis, SC. 2006.

CURCIO, G.R.; UHLMANN, A. & SEVEGNANI, L. **A geopedologia e sua influência sobre espécies arbóreas de florestas fluviais.** Colombo: Embrapa Florestas, 2006.

DIAS, J. A. **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos.** Universidade do Algarve. Faro. 2004.

DUNN, S. M.; LILLY, A. **Investigating the relationship between a soils classification and the spatial parameters of a conceptual catchment-scale hydrological model.** Journal of Hydrology, v. 252, n. 1-4, p. 157-173, 2001.

ELLIOT, W. J., HALL, D. E. **“Water erosion prediction (WEPP) Forest Applications”.** Ogden. UT: Rocky Mountain Research Station, 1997. (General Technical Report, 365).

EPAGRI, **Inventário de Terras – Microbacia Concórdia – Município de Lontras, SC.** Florianópolis: Programa de Recuperação Ambiental e de Apoio ao Pequeno Produtor Rural. 2005.

FONSECA, J.J.; GONÇALVES, J.F.Jr.; CALLISTO, M. **C, N, P e composição granulométrica do sedimento em quatro ecossistemas lóticos amazônicos sob influência de uma mineração de bauxita.** *Anais do VIII Seminário Regional de Ecologia*. Vol.8: 1373-1380, 1998.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. **Brazos river bar: a study in the significance of grain size Parameter.** *J. Sedimentary Petrol.*, v.27, p.3-27. 1957

FÖRSTNER, U.; WITTMAN, G. T. W.; **Metal Pollution in the Aquatic Environment**, 2th ed., Springer-Verlag: Berlin, 1981.

FRANÇA, J. S.; MORENO, P. & CALLISTO, M. **Importância da Composição Granulométrica para a Comunidade Bentônica e sua Relação com o Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (MG).** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 12., Porto Alegre, 2006.

FRANTI, T.G.; LAFLEN, J.M.; WATSON, D.A. **Predicting soil detachment from high discharge** concentrated flow, *Transactions of the ASAE* **42** (2), p. 329–335. 1999.

FRANZOI, L. C. **Distribuição de coliformes totais e termotolerantes na coluna de água e no sedimento límico na bacia experimental do ribeirão Concórdia - Lontras/SC.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Fundação Universidade Regional de Blumenau, 118 p.

FRERE, M. H.; ROSS, J.D.; LANE, L.J. **The nutrient sub-model.** In: KNISEL W.G., ed. *CREAMS: A field-scale model for Chemical, runoff and erosion from agricultural management system.* Washington, USDA, p. 65-87, 1980.

GAO, S.; COLLINS, M.; **Analysis of grain size trends, for defining sediment transport pathways in marine environments.** *Journal of coastal research*, Fort Lauderdale, Flórida, p. 70 – 78. 1994.

GARCÍA-RUIZ, J.M., REGÜÉS, D., ALVERA, B., LANA-RENAULT, N., SERRANO-MUELA, P., NADAL- ROMERO, E., NAVAS, A., LATRON, J., MARTÍ-BONO, C.,

ARNÁEZ, J., **Flood generation and sediment transport in experimental catchments affected by land use changes in the central pyrenees**, Journal of Hydrology. 2008.

GONÇALVES, F.A. **Validação do modelo WEPP na predição de erosão hídrica para condição edafoclimática da região de Viçosa-MG**. Tese doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2008. 130 p.

GRIMALDI, C. **Hydrochimie de petits bassins versants: Apports à la connaissance du fonctionnement géochimique du sol et de la qualité de l'eau des cours d'eau. Memoire HDR**. UMR INRA-Agrocampus Sol Agronomie Spatialisation, Rennes, 80 p, 2004.

JENKINS, A.; PETERS, N. E.; RODHE, A. **Hydrology** In: Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research. Chichester: John Wiley, 1994. Cap. 2. P. 31 – 54.

HANSON G.J., SIMON A., **Erodibility of cohesive streambeds in the loess area of the Midwestern USA**. Hydrological Processes **15** (1), pp. 23–38. 2001

KAIPPERT, E. **Metodologia para estudo da ressuspensão de sedimentos na lagoa Rodrigo de Freitas**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 66 p, 2004, Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental).

KARLEN D.L., DITZLER C.A., ANDREWS S.S. **Soil quality: Why and how?** *Geoderma*, 114 (3-4), p. 145-156. 2003.

KNAPEN, A.; POESEN, J.; GOVERS, G.; GYSSELS, G.; NACHTERGAELE, J. **Resistance of soils to concentrated flow erosion: A review**. Earth-Science Reviews, v. 80, n. 1-2, p.75-109, 2007.

KRUMBEIN, W. C. **Size frequency distribution of sediments**. Journal of Sed. Petrol., 4:p. 65 – 77. 1934.

LEPSCH, I. F. **Solos: formação e conservação**. 5.ed. São Paulo, Melhoramentos, 1993. 157p.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. da. **Seleção de modelos para o traçado de curvas granulométricas de sedimentos em suspensão em rios**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 11(1):101–107, 2007.

LICHT, O. A. B.; **Prospecção Geoquímica – Princípios, Técnicas e Métodos**, CPRM: Rio de Janeiro, 1998.

LUCE, C. H. (1997) **Effectiveness of Road Ripping in Restoring Infiltration Capacity of Forest Roads**. Restoration Ecology, Tucson, v. 5, n. 3, p. 265-270.

LUCE, C. H.; T. A. BLACK (1999), **Sediment Production from Forest Roads in Western Oregon**, Water Resour. Res., 35(8), 2561–2570.

MACHADO, R. E., **Simulação de Escoamento e de Produção de Sedimentos em uma Microbacia Hidrográfica Utilizando Técnicas de Modelagem e de Geoprocessamento**. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 152p. 2002.

MacDONALD, L. H.; SAMPSON, R. W.; ANDERSON, D. M. (2001) **Runoff and road erosion at the plot and road segment scales, St. John, US Virgin Islands**. Earth Surface Processes and Landforms, Chichester, v. 26, p. 251–272.

MARIANI, C.F. (2006). **Reservatório Rio Grande: caracterização limnológica da água e biodisponibilidade de metais-traço no sedimento**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 138 p.

MENDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. M. (1997). **Escalas Hidrológicas III: Hipótese Integradora de Processos na Bacia Vertente**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 02, n.02, pp. 21-44.

MEGAHAN, W. F. **Scale Considerations and the Detectability of Sedimentary Cumulative Watershed Effects**. NCASI, Technical Bulletin n°. 776. 1999.

MEYER, L.D.; HARMON, W.C. **Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes**. Transactions of the American Society of Agricultural Engineering, v.22, p.100-103, 1979.

MINELLA, J. P. G., MERTEN, G. H., REICHERT, J. M., SANTOS, D. R. dos, **Identificação e Implicações Para a Conservação do Solo das Fontes de Sedimentos em Bacias Hidrográficas**. Revista Brasileira Ciência. Solo, 31, p. 1637-1646, Santa Maria, 2007.

MOLDAN, B.; CERNY, J. **Small catchments research. In: Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research**. Chichester: John Wiley, 1994. p. 1 – 29.

MORAES. J.C.S. **Avaliação do transporte de agroquímicos no perfil do solo, sob diferentes tipos de culturas**. Fundação Universidade Regional de Blumenau, 94p. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental).

MOREIRA, R. C. A.; BOAVENTURA, G. R. **Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da bacia do Lago Paranoá – DF**. Química Nova, 26(6):812-820, 2003.

MOZETO, A. A., SILVERIO, P. F., DE PAULA, F. C. F., BEVILACQUA, J. E., PATELLA, E., JARDIM, W. R. **Weakly-bound metals and total nutrient concentrations of bulk sediments from some waters reservoirs in São Paulo state, Brasil**. In: M. Munawar (Ed). Sediment Quality Assesment and management : Insight and progress: Aquatic Ecosystem Health and Management Society , 2003.

OCAMPO, C. J., SIVAPALAN, M.; OLDHAM, C. E. (2006). **Field exploration of coupled hydrological and biogeochemical catchment responses and a unifying perceptual model**. Advances in Water Resources. v. 29, p.161–180, 2006.

OWOPUTI, L.O.; STOLTE, W.J. **Soil detachment in the physically based soil erosion process: a review**, Transactions of the ASAE **38** (4), p. 1099–1110. 1995.

PAIVA, E. M. C. D, **Métodos de estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas**. In: Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 625 p.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D.; PARANHOS, R. M.; EMMER, R. (2000). **Curvas Chave de Vazões e de Sedimentos de Pequenas Bacias Hidrográficas. O Que Representam?** In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Caracterização qualitativa da produção de sedimentos, Santa Maria, 2000.

PANDOLFO, C.; SCHERER, E.; SOPRANO, E.; FONSECA, J. A.; NEUBERT, E. O. **Relatório – Parâmetros de Química do solo – Microbacia Hidrográfica da Concórdia**, Município de Lontras. Epagri, 2005.

PELLEGRINI, J. B. R., **Fósforo na água e no sedimento na Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino, Agudo – RS**. 2005. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

PELLEGRINI, A. **Sistemas de cultivo da cultura do fumo com ênfase às práticas de manejo e conservação do solo**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

PEREIRA, A. R.; SANTIAGO, A. V.; MAGGIOTTO, S. M.; FOLEGATTI, M. V. **Problemas operacionais com lisímetro de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento**. Rev. Bras. De Agrometeorologia, 2002. Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 51 – 56.

PINTO, L.V.A.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FERREIRA, E. 2004. **Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG**. Scientia Forestalis, n. 65, p. 197- 206.

RAMOS-SCHARRÓN, C. E.; MacDONALD, L.H. (2005) **Measurement and prediction of sediment production from unpaved roads, St John, US Virgin Islands**. Earth Surface Processes and Landforms, Chichester, v. 30, p. 1283–1304.



REID, I.; BARTHURST, J. C.; CARLING, P. A.; WALLING, D. E.; WEBB, B. (1997). **Sediment Erosion, Transport and Deposition**. In: Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management. New York: John Wiley & Sons, 1997. pp. 95-135.

RIGHETTO, A. M., **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Paulo: EESC/USP, 1998. 813 p.

RUSSELL, M.A.; WALLING, D.E. & HODGKINSON, R.A. **Suspend sediment sources in two small lowland agricultural catchments in the UK**. Journal of Hydrology, 252, p1-24, 2001.

SCHENATO, R. B. **Dinâmica do fósforo de sedimentos de uma pequena bacia hidrográfica de cabeceira**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

SEEGER, M.; ERREA, M. P.; BEGUERÍA, S.; ARNÁEZ, J.; MARTÍ, C.; GARCÍA-RUIZ, J. M. (2004). **Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factor for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish pyrennes**. Journal of Hydrology 288, pp. 299 – 311.

SEMMELMANN, F. R. 1991. **Determinação da Energia Cinética de Chuvas Simuladas**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 4., Anais. Rio de Janeiro.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C.E.M. (1998). **Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica**. Rev. Bras. Rec. Hídricos 3: 97-110.

SIMÕES, S. J. C.; COIADO, E. M. Processos Erosivos. **Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre. ABRH, 2001. cap. 10, p. 283-293.

SIVIERO, M. R. L.; COIADO, E. M. **A produção de sedimentos a montante de uma seção no rio Atibaia associada à descarga sólida transportada**. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 1999, Belo Horizonte, MG.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI R. S.; TOMM G. O. **Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade.** R. Bras. Ci. Solo, 28:533-542, 2004.

SOARES, M. C. C., MIZUSAKI, A. M. P., GUERRA, T., VIGNOL, M.L. **Análise Geoquímica dos Sedimentos de Fundo do Arroio do Salso, Porto Alegre - RS – Brasil,** Instituto de Geociências, UFRGS, Pesquisas em Geociências, 31(1): 39-50 2004.

SUGUIO, K. 1973. **Introdução a sedimentologia.** Edgar Blucher/Edusp, São Paulo.

TEIXEIRA. L.P. **Caracterização hidrológica dos solos da bacia experimental do ribeirão Concórdia.** Fundação Universidade Regional de Blumenau, 112 p. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental).

THOMAS, R.L. **A protocol for the selection of process-oriented remedial options to control *in situ* sediment contaminants.** Hydrobiologia, 149: 247-258, 1987.

THOMAS, R., MAYBECK, M. **The use of particulate matter.** In: D. Chapman (Ed.). Water Quality Assessments: Chapman & Hall, 1992. p. 121 – 170.

TOMÉ JR. J.B. **Manual de interpretação de análise de solo.** Guaíba: Agropecuária, 247p. 1997.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia, ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

TUCHY, E. **Forestry ecology in mountains areas.** In: LOGGING IN MOUNTAINS FORESTS. Rome, FAO, 1982. p. 9-14.

UMEZAWA, P. K. (1979). **Previsão de deplúvio (Washload) em rios de áreas elevadas.** Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1979. 232p.

USEPA - **Method Study SW-846 - Method 3050 Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils.** EPA, Dec. 1996.

ZABALETA, A.; MARTÍNEZ, M.; URIARTE, J. A.; ANTIGÜEDAD, I. (2007). **Factors controlling suspended sediment yield during runoff events in small haedwater catchment of the Basque Country.** Catena.

ZIEGLER, A.D.; GIAMBELLUCA, T.W. **Importance of rural roads as source areas for runoff in mountainous areas of northern Thailand.** Journal of Hydrology **196**, p. 204–229, 1997.

WAGENER T.; SIVAPALAN M.; TROCH P.; WOODS R. (2007). **Catchment Classification and Hydrologic Similarity.** Geography Compass. v.1, n.4, p.901–931, 2007.

WALLING, D. E., WOODWARD J. C., NICHOLAS, A. P., **A Multi-parameter Approach To Fingerprinting Suspended-Sediment Sources,** Tracers in Hydrology (Proceedings of the Yokohama Symposium, July 1993) IAHS Publ.nº. 215, 1993.

WALLING, D.E. & WOODWARD, J.C. **Tracing sources of suspend sediment in river basins: A case study of the River Culm, Devon, UK.** Marine Freshwater Res.,46 p.327-336, 1995.

WILLIAMS, G. P. (1989). **Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers.** Journal of Hydrology, v. 111, pp. 89-106, 1989.

WOLMAN, M. G. **Soil Erosion and Crop Productivity: A Worldwide Perspective.** IN: STEWART, A; FOLLET, R.F. (Ed.). Soil Erosion and Crop Productivity. American Society of Agronomy, Madison, 1985. p. 10-21

ZACHAR, D. **Soil Erosion: developments in soil science.** New York: Elsevier Scientific, 1982. 547 p.

XU, J. **Implication of relationships among suspended sediment size, water discharge and suspended sediment concentration: the Yellow River basin, China.** 2002. Catena, 49. p.289 – 307.