

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CURVA CHAVE PARA O MONITORAMENTO AUTOMÁTICO DE
SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO FALSO – PR**

KAYLA WALQUIRIA GARMUS POLETTO

Cascavel – Paraná – Brasil

Abril - 2007

KAYLA WALQUIRIA GARMUS POLETTTO

**CURVA CHAVE PARA O MONITORAMENTO AUTOMÁTICO DE
SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO FALSO – PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em **Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente**.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Moisés
Ferreira de Queiroz

CASCADEL - Paraná - Brasil

Abril – 2007

KAYLA WALQUIRIA GARMUS POLETTTO

**CURVA CHAVE PARA O MONITORAMENTO AUTOMÁTICO DE
SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO FALSO – PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Manoel Moisés Ferreira de Queiroz
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof^a. Dr^a Kátia Valéria Marques Cardoso Prates
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR

Prof^a. Dr^a. Simone Damasceno Gomes
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Cascavel, 04 de abril de 2007.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos dois presentes que ganhei de Deus: meu filho **Leonardo Garmus Poletto** e minha filha **Isadora Garmus Poletto**. Ambos são fontes de inspiração para superar as adversidades impostas pela vida, são o motivo pelo qual luto todos os dias, vocês me dão forças para sempre que necessário começar tudo de novo e apreciar a grandiosidade da VIDA. Sem vocês com certeza eu não teria nem mesmo começado este humilde trabalho, espero que vocês tenham tanto orgulho de mim quanto eu tenho de vocês. Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Deus: **Jeová** que me deu vida, inteligência e força para desenvolver este trabalho;

Aos meus pais: **Ivo Francisco Garmus e Ana Célia Vargas Garmus** que dedicaram suas vidas para que eu pudesse estudar;

Ao meu professor e orientador: **Manoel Moisés Ferreira de Queiroz** que me incentivou, orientou e acreditou em mim, e as mulheres de sua vida: Nina, Louise e Ingrid pela amizade e paciência;

Ao meu “namorado”: **Paulo Rotta** que me apoiou, me amou e me agüentou durante este período (eu sei não foi fácil);

Aos meus colegas: **Alex Borghetti, Edemar Schelle e Juliana Cechet**, sem vocês com certeza teria sido bem mais difícil.

RESUMO

O conhecimento do comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica é fundamental para a adequada gestão e uso de seus recursos hídricos. Este trabalho objetivou a elaboração de estudo sobre o comportamento do fluxo de sedimentos em suspensão ao longo da Bacia do Rio São Francisco Falso. Com base nos dados hidrossedimentométricos, foram geradas curvas-chave de concentração de sedimentos e vazão; leitura do turbidímetro e vazão; leitura do turbidímetro e concentração de sedimento, e, posteriormente, os valores de medições das vazões diárias foram convertidos em valores de descarga sólida em suspensão. A estação da bacia apresentou vazão média diária de 4,81 m³/s e um fluxo médio de sedimentos em suspensão de aproximadamente 7,23 t.dia⁻¹, o que corresponde a um valor de descarga sólida específica em suspensão de 5 t.ano⁻¹.km². Também foi elaborada a caracterização fisiográfica da Bacia do Rio São Francisco Falso.

Palavras-chave: concentração de sedimentos, curva-chave, vazão.

RATING CURVE FOR AUTOMATIC MONITORAMENT OF SEDIMENTS IN BASIN OF THE FALSE SAN FRANCISCO RIVER - PR

ABSTRACT

Knowledge of the hydro-sedimentologic behavior of a river basin is basic for the appropriate management and use of their water resources. This work objectified to implement a study about the behavior of suspended-sediment discharge along the basin of false San Francisco River. Based on the available hydro-sedimentometric data, had been generated rating-curve of the sediments concentration and outflow; reading of turbidímetro and outflow; reading of turbidímetro and concentration of sediment, and, afterwards, the measurements values of the daily outflow were converted into suspended-sediments discharge. The station of the basin presented daily average outflow of 4,81 m³/s an average suspended-sediment flow about 7,23 ton.day⁻¹, what it corresponds to a value of a specific suspended sediment load de 5 t.ano⁻¹.km². Also the physiographic characterization of the Basin of the False San Francisco River.

Key words: sediments concentration, rating-curve, outflow.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 SEDIMENTOS: ASPECTOS GERAIS.....	3
2.2 CONTROLE DA SEDIMENTAÇÃO EM CURSOS HÍDRICOS.....	10
2.3 MEDIÇÃO DA CARGA SÓLIDA E DA DESCARGA SÓLIDA.....	11
2.4 MEDIÇÃO DA DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO.....	12
2.4.1 Cálculo da Velocidade de Trânsito.....	13
2.4.2 Coleta da Amostra no Rio.....	15
2.4.3 Cálculos para Obtenção da Concentração de Sólidos Suspensos.....	17
2.4.4 Caracterização da Curva-chave.....	19
2.5 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA.....	21
2.5.1 Área	22
2.5.2 Forma	22
2.5.2.1 Fator de forma.....	22
2.5.2.2 Índice de compactidade.....	23
2.5.2.3 Índice de conformação.....	23
2.5.3 Declividade da Bacia.....	23
2.5.4 Declividade do Curso D'água.....	24
2.5.5 Tipo de Rede de Drenagem.....	24
2.5.5.1 Ordem dos cursos d'água.....	24
2.5.5.2 Densidade de cursos d'água.....	24
2.5.5.3 Densidade de drenagem.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	26
3.2 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA.....	27
3.2.1 Características da Forma da Bacia Hidrográfica.....	28
3.3 DETERMINAÇÃO DA DESCARGA LÍQUIDA.....	29

3.3.1 Coleta de Dados no Rio.....	29
3.3.2 Medição de Velocidades.....	31
3.3.3 Cálculo da Vazão.....	32
3.4 DETERMINAÇÃO DA DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO.....	34
3.4.1 Coleta de Amostra.....	34
3.5 ANÁLISE DE LABORATÓRIO.....	36
3.5.1 Redução da Amostra: 1ª Fase.....	37
3.5.2 Redução da Amostra: 2ª Fase.....	38
3.5.3 Determinação da Descarga Sólida.....	38
3.5.4 Processo de Evaporação.....	38
3.6 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS....	39
3.7 DETERMINAÇÃO DA CURVA-CHAVE.....	40
3.7.1 Curva-Chave Sedimentos – Vazão.....	40
3.7.2 Curva Chave Leitura do Turbidímetro – Vazão.....	40
3.7.3 Curva Chave Leitura do Turbidímetro – Sedimento.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DA BACIA.....	42
4.2 BATIMETRIA.....	46
4.3 MEDIÇÃO DE VELOCIDADES DO FLUXO D'ÁGUA.....	46
4.4 CURVA CHAVE VAZÃO-CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS.....	50
5 CONCLUSÕES.....	57
REFERÊNCIAS.....	58
APÊNDICE 62	
APÊNDICE A - ANÁLISE EM LABORATÓRIO.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição da velocidade da corrente, concentração de sedimentos e da descarga sólida em suspensão na seção transversal.....	14
Figura 2 - Garrafa de amostragem indicando níveis a serem obedecidos.....	16
Figura 3 - Esquema de proporcionalidade entre velocidade de trânsito do amostrador e velocidade da corrente para os bicos padronizados.	17
Figura 4 - Localização da bacia do rio São Francisco Falso Sul.....	26
Figura 5 - Mapa Cartográfico da Bacia.....	27
Figura 6 - Datalogs em caixa metálica (A) e tubo vertical fixado ao pilar da ponte para o turbidímetro e o linígrafo instalados (B).....	29
Figura 7 - Corpo do turbidímetro.....	30
Figura 8 - Cabo de aço para demarcação da seção molhada.....	30
Figura 9 - Esquema representativo da seção transversal do curso d'água.....	31
Figura 10 - Equipamento molinete.....	32
Figura 11 - Perfis de velocidade de fluxo de água na seção do rio.....	33
Figura 12 - Representação do perfil referente ao produto da área pela velocidade na seção do rio.....	33
Figura 13 - Movimento vertical do amostrador.....	34
Figura 14 - Amostrador DH-48.....	35
Figura 15 - Coleta da amostra utilizando o amostrador e amostra desprezada.	36
Figura 16 - Amostras recém chegadas do campo. Início da decantação.....	36
Figura 17 - Momento de fazer a 1ª redução.....	37
Figura 18 - Momento de fazer a 2ª redução.....	37
Figura 19 - Seção transversal do rio.....	39
Figura 20 - Mapa da representando a hidrografia da bacia.....	42
Figura 21 - Mapa da bacia, determinando a média da largura e a medida do comprimento de maior dimensão.....	43
Figura 22 - Mapa para a determinação das curvas de nível da bacia.....	43
Figura 23 - Mapa hipsométrico da bacia.....	44

Figura 24 - Mapa hidrográfico determinando os rios contribuintes da bacia.....	44
Figura 25 - Mapa hidrográfico determinando a ordem dos rios formadores da bacia.....	45
Figura 26 - Gráfico que apresenta: as batimetrias (largura versus profundidade).....	49
Figura 27 - Curva chave do rio São Francisco Falso.....	51
Figura 28 - Curva-chave leitura do turbidímetro – Vazão.....	52
Figura 29 - Curva-Chave leitura do turbidímetro - Descarga sólida.....	54
Figura 30 - Série de vazão e descarga sólida.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros, e equações para determinar as características de forma da bacia hidrográfica.....	28
Tabela 2 - Equação da velocidade do molinete.....	31
Tabela 3 - Valores que caracterizam a fisiografia da bacia.....	45
Tabela 4 - Valores das batimetrias e áreas delimitadas pelas verticais.....	47
Tabela 5 - Valores de rotação, velocidade média e vazão nas seções delimitadas pelas verticais.....	48
Tabela 6 - Resultados de velocidade média, área e vazão total.....	49
Tabela 7 - Valores de concentração e vazão, obtidos pelas leituras em campo e em laboratório.....	50
Tabela 8 - Valores de voltagem e respectivos dados de vazão	52
Tabela 9 - Valores de voltagem e de concentração de sedimento.....	53
Tabela 10 - Equações obtidas por meio das curvas-chave e seus respectivos R^2	54

1 INTRODUÇÃO

A região oeste do Paraná, devido às suas grandes riquezas ambientais, tais como: recursos hídricos, solo produtivo e ambiente propício para a exploração agrícola, vem sendo explorada de forma intensa, gerando danos irreversíveis para o meio ambiente.

Atualmente, a região hidrográfica do Estado Paraná apresenta grande importância no contexto nacional.

O aumento no uso de terra para a agricultura na bacia do Rio Paraná, no sul, sudeste e centro-oeste do Brasil gerou perdas de solo na região. A perda de solo por erosão hídrica, o transporte de sedimentos e o assoreamento nos rios contribuintes da bacia têm causado efeitos adversos de curto e longo prazo (CARVALHO et al., 2000).

Os sedimentos transportados pelos rios e o assoreamento do Reservatório de Itaipu, a longo prazo, podem causar uma redução do potencial de geração de eletricidade, diminuir a navegabilidade dos rios e causar problemas na qualidade da água, por isso é importante quantificar esse processo e a forma como ele ocorre, indicando formas de controle e medidas mitigadoras.

A bacia hidrográfica do Paraná III que margeia o lago Itaipu, em função das atividades que ocorrem na sua área, é uma grande contribuidora de sedimentos e alteração da qualidade da água.

Uma forma de conhecer a intensidade da ocorrência desse processo é a quantificação dos sedimentos que chegam aos cursos da água com base em procedimentos hidrossedimentológicos.

A Itaipu binacional por intermédio de sua área de sedimentologia vem monitorando a descarga líquida e a concentração de sedimentos em uma estação de monitoramento instalada na seção do rio, utilizando um turbidímetro e um linígrafo instalados em um único ponto da seção do rio.

Para caracterizar melhor o processo e obter informações mais representativas da descarga sólida em suspensão é necessária uma

quantificação mais detalhada da concentração de sedimentos por meio de métodos que considerem toda a seção do rio, fornecendo resultados que possibilitem estabelecer correlações entre os resultados deste estudo e as leituras obtidas pelo turbidímetro, possibilitando a aplicação da metodologia de monitoramento adotada pela Itaipu.

Considerando as questões pontuadas acima foi estabelecido como objetivo geral deste trabalho quantificar a descarga sólida em suspensão do Rio São Francisco Falso pelo método de integração vertical, para diferentes valores de descargas líquidas, na estação de monitoramento, operada pela Itaipu Binacional. Nesse sentido, foram estabelecidas as curvas-chave da descarga sólida em suspensão e do turbidímetro instalado na estação. Com base nessas curvas foi construída uma curva-chave que permitiu relacionar as leituras do turbidímetro e a concentração de sedimentos estabelecendo suas respectivas equações. Determinaram-se, também, as características fisiográficas da bacia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SEDIMENTOS: ASPECTOS GERAIS

A utilização imprópria das áreas frágeis, o desmatamento desordenado, o preparo inadequado do solo, a destruição da matéria orgânica, as queimadas, o plantio no sentido do declive do terreno, o superpastoreio, a falta do hábito de rotação de culturas, são problemas graves que atingem uma parte significativa das bacias hidrográficas (DILL, 2002).

A degradação das bacias hidrográficas pela ação antrópica, como os desmatamentos desordenados, o uso irracional do solo pela agricultura, pastoreio, obras civis, etc., associada aos fenômenos naturais de precipitação, como os verificados nas regiões tropicais, resulta, num curto espaço de tempo, em quantidades de solo (sedimento), que chegam aos rios e reservatórios, maiores que aquelas produzidas em centenas de anos em condições de equilíbrio natural (SIMÕES; COIADO, 2003).

A erosão é um conjunto de processos, segundo os quais o material terroso ou rochoso é desgastado, desagregado e removido da superfície da terra, conseqüentemente, alterando-a localmente com diferentes taxas de mudanças. Em nível global e considerando-se grandes períodos de tempo geológico, pode-se dizer que essas mudanças ocorrem de forma lenta e continuada (SIMÕES; COIADO, 1998).

A erosão inclui o intemperismo, o transporte e a deposição dos sedimentos e pode ser classificada em: erosão natural que é provocada pela natureza e não há necessidade de controlá-la; erosão acelerada que é provocada por ações antrópicas, cujas taxas de sedimentos ultrapassa os valores admissíveis, para determinado ambiente (SIMÕES; COIADO, 1998).

O estudo e a compreensão dos fatores que integram o processo de erosão do solo e a quantificação das perdas de solo são de grande

importância, pois servem de ponto de partida para a elaboração de medidas que visem à maximização do uso dos recursos hídricos disponíveis, evitando-se os efeitos negativos decorrentes da produção, transporte e deposição de sedimentos. Modelos matemáticos são utilizados no auxílio ao desenvolvimento de projetos e à tomada de decisão. No entanto, são necessários dados para calibração e ajuste. Essas informações, principalmente na área de engenharia de sedimentos, são bastante reduzidas e muitas vezes inexistentes (PAIVA et al, 2000).

A erosão hídrica do solo constitui um dos principais problemas relativos aos recursos naturais no Estado do Paraná e, apesar dos esforços realizados para controlá-la, ainda alcança proporções alarmantes. Informações oriundas de pesquisas mostram que a perda média anual de solo no Paraná, em áreas agrícolas intensivamente mecanizadas, é de 15 a 20 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (PARANÁ, 1989). Cabe salientar que a taxa de erosão de 20 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em uma área agrícola representa prejuízo anual de aproximadamente 250 milhões de dólares em nutrientes (LIMA; SILVA; PRUSKI, 2002).

O *U.S. Soil Conservation Service* estima o limite de perda de solo em 11,2 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para atividades agrícolas, enquanto as taxas de erosão geológica (erosão normal) ficam entre 0,224 e 2,42 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Porém, a construção de estradas e as atividades de urbanização podem gerar índices muito mais elevados, respectivamente, 338 e 226 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (TOY, 1982).

Nos solos pobremente revestidos, a erosão acelerada é favorecida pelo escoamento concentrado ou enxurrada, deixando marcas na superfície do terreno face às anisotropias ou heterogeneidade pré-existentes. O escoamento difuso pode se tornar concentrado, aumentando o volume de água que corre por canais e riachos. Em ambos a água tem energia suficiente para remover partículas maiores, formando sulcos paralelos e captando a drenagem imediatamente ao redor, dependendo de diferentes fatores de origem natural ou antrópica (EVANS, 1992; FACINCANI, 1995; SIMÕES, 1998).

Um dos principais problemas decorrentes desse processo é a perda de solo, que causa prejuízos aos produtores, pelo aumento da quantidade de fertilizantes aplicados ao solo, na tentativa de repor o que foi carregado. Com a falta de medidas de contenção da perda de solo, esses fertilizantes são carregados até os cursos d'água, causando o desequilíbrio do ecossistema aquático. Dentre as conseqüências dessa aplicação, pode-se citar: alterações

das características físicas e químicas da água, poluição da água, eutrofização, assoreamento e outros efeitos adversos de curto e longo prazo em ambientes aquáticos.

Os sedimentos presentes nos cursos d'água são partículas sólidas originadas da erosão dos solos e das rochas da bacia contribuinte ou do próprio leito do rio (LIMA et al., 2001).

Os sedimentos são responsáveis pela formação e manutenção de praias de rios, pelo equilíbrio do fluxo sólido e líquido entre os continentes e os oceanos e constituem fator fundamental para a dinâmica dos cursos d'água, transportam nutrientes que servem de alimento aos peixes ou, quando em desequilíbrio, para a eutrofização de ambientes aquáticos (CARVALHO et al., 2000).

Os dados gerados em estudos hidrossedimentológicos, confrontados com mapas geológicos, de uso e ocupação do solo, mapas topográficos e outras informações pertinentes à bacia, permitem a obtenção de informações que podem ser utilizadas como subsídio para a correção de problemas existentes e o estabelecimento de ações para o desenvolvimento com base na racionalização e na otimização do uso dos recursos naturais de uma bacia hidrográfica (LIMA; SILVA; PRUSKI, 2002).

A produção e a deposição de sedimentos em uma bacia hidrográfica dependem fundamentalmente de suas características naturais e de influências antrópicas: chuvas, tipos de solo, topografia, densidade de drenagem, cobertura vegetal e área de drenagem, uso e ocupação do solo, o uso da água, alterações no curso d'água e outros (CARVALHO et al., 2000).

O transporte de sedimentos é um fenômeno complexo que depende de processos erosivos que ocorrem em toda a bacia, no leito e nas margens dos rios. O solo erodido depende por sua vez da energia do fluxo para ser transportado. A combinação desses fatores resulta em um fenômeno de grande variação no tempo e no espaço (SANTOS et al., 2001).

A perda da cobertura florestal aumenta a quantidade e a velocidade do escoamento superficial, com o conseqüente aumento da capacidade de arraste e transporte de material. A desagregação de colóides pela ação das chuvas desencadeia a ação do escoamento superficial nas encostas e nos leitos de curso de água, desequilibra os processos erosivos naturais das bacias

hidrográficas (SCHROEDER, 1996). Esse desequilíbrio causa a redução da área agricultável e o empobrecimento dos solos em geral.

Segundo CARVALHO (1994), o transporte de sedimento ocorre de diferentes formas:

Sólidos de arrasto – as partículas rolam ou escorregam longitudinalmente no curso d'água, mantendo-se, praticamente todo o tempo, em contato com o leito.

Sólidos saltitantes – as partículas pulam ou saltitam ao longo do curso d'água com o efeito da correnteza ou devido a choques com outras partículas. O impulso inicial que arremessa a partícula na correnteza pode ocorrer pelo choque com outra, ao rolamento de uma por cima da outra ou para o fluxo de água sobre a superfície curva de uma partícula criando uma pressão negativa.

Sólidos em suspensão – as partículas são suportadas pelas componentes verticais da velocidade do fluxo turbulento, enquanto são transportadas pelos componentes horizontais dessas velocidades, sendo pequenas o suficiente para permanecerem em suspensão, subindo e descendo na corrente acima do leito.

A granulometria e as condições de escoamento do local são responsáveis pela forma de transporte dessas partículas, seja em suspensão no fundo do rio, saltitando, deslizando ou rolando. As partículas sofrem a ação de diferentes tipos de forças, de acordo com o seu peso, tamanho, forma, velocidade, obstáculos no leito e a forma de escoamento que pode ser laminar ou turbulenta.

As chuvas que desagregam os solos e as enxurradas que os transportam para os cursos d'água são os maiores responsáveis pelo transporte de sedimentos (CARVALHO, 1994).

Segundo LIMA et al. (2002), a formação do material intemperizado em uma bacia hidrográfica e seu transporte até o rio é consequência da interação entre fatores hidrológicos, sendo de maior importância: a quantidade e distribuição da precipitação, a estrutura geológica e pedológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal.

Os sedimentos são materiais erodidos e susceptíveis ao transporte e deposição. Sua caracterização e identificação podem ocorrer da seguinte forma:

- Os pedregulhos que são acumulações dos fragmentos das rochas, com dimensões maiores que 5,0 mm, encontrados em grandes extensões, nas margens dos rios e em depressões preenchidas por materiais transportados pelas águas;

- A areia tem sua origem de modo semelhante à dos pedregulhos. No entanto, suas dimensões variam de 5,0 a 0,05 mm. Se a areia não contiver nenhum tipo de partículas mais finas, ela não se contrai ao secar e não apresenta plasticidade;

- Os siltes são frações de solos de granulização fina que apresentam pouca ou nenhuma plasticidade. Quando um torrão de silte é seco sem ajuda mecânica, (somente por evaporação espontânea), ele pode ser desfeito com facilidade;

- As argilas são solos de granulometria muito fina, apresentando características como plasticidade e elevada resistência, quando secas, representam a fração mais ativa dos solos (CARVALHO et al., 2000).

Segundo LIMA et al. (2005), o conhecimento sobre o comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica é fundamental para a adequada gestão de seus recursos hídricos e como o suporte à tomada de decisões sobre o desenvolvimento de atividades antrópicas. O acompanhamento dos fluxos de sedimentos ocorridos em um dado local da bacia permite o diagnóstico de eventuais impactos em sua área de drenagem, ao longo do tempo, podendo se tornar um importante indicador ambiental.

Em várias atividades de aproveitamento dos recursos hídricos de superfície, a concentração e a qualidade dos sólidos em suspensão são informações essenciais. No caso das barragens construídas ao longo dos cursos d'água, seja para fins de geração de energia hidrelétrica, para irrigação ou qualquer outro uso, os estudos hidrossedimentológicos são fundamentais para avaliar a vida útil da obra e a necessidade da adoção de medidas que viabilizem e otimizem o seu uso. Para o setor hidroviário, a identificação de zonas de deposição de sedimentos é determinante na análise de viabilidade do projeto e para minimização dos custos com reparos nos canais de navegação. Para o setor de irrigação e aplicações congêneres, que precisam bombear água dos rios, os sedimentos carregados no curso d'água, além de causar a degradação mais rápida dos sistemas de bombeamento, ainda podem provocar entupimentos, principalmente nos sistemas de irrigação por gotejamento e

microaspersão, que se tornam dependentes de eficientes sistemas de filtragem. Além disso, quando a água apresenta elevadas concentrações de sedimentos, até o seu tratamento para o abastecimento humano pode ser interrompido. Os sedimentos também exercem grande influência nos demais parâmetros de qualidade das águas, pois, ao serem transportados para os cursos d'água, carregam consigo outros elementos que, dependendo da situação do rio, podem ser benéficos ou maléficos ao meio ambiente e aos seus usuários. Cabe destacar ainda que os sedimentos são responsáveis também pela formação de praias de rios e zonas costeiras que, para algumas regiões, são fundamentais como opção de lazer e bem-estar social, assim como para a economia local (CARVALHO et al., 2000).

O transporte de sedimentos afeta a qualidade da água e a possibilidade para o consumo humano ou seu uso para outras finalidades. Numerosos processos industriais não toleram mesmo pequenas porções de sedimentos em suspensão na água. Esse fato envolve muitas vezes enormes gastos públicos para a solução do problema (CARVALHO et al., 2000).

Os sedimentos não são somente um dos maiores poluentes da água, mas também servem como carreadores e como agentes fixadores poluidores. O sedimento sozinho degrada a qualidade da água para consumo humano, para recreação, para o consumo industrial, infra-estrutura hidrelétrica e vida aquática. Adicionalmente, produtos químicos e lixo são assimilados sobre e dentro das partículas de sedimento. Trocas iônicas podem ocorrer entre o soluto e o sedimento. Dessa forma, as partículas de sedimento agem como um agente de problemas causados por pesticidas, agentes químicos decorrentes do lixo, resíduos tóxicos, nutrientes, bactérias patogênicas, vírus, etc. (LIMA et al., 2001).

Os problemas causados pela deposição de sedimentos são vários, porém, o sedimento é vital no que tange à conservação, desenvolvimento e utilização do solo e dos recursos hídricos. Com a rápida expansão da população e a conseqüente demanda por infra-estrutura, alimento e produtos derivados do meio ambiente, a exploração deve ser repensada. O gerenciamento integrado do sistema solo + água deve ser enfatizado. No caso brasileiro, mais especificamente no setor elétrico, em que mais de 90% da energia elétrica é oriunda de fonte hidráulica, é preciso planejar e trabalhar a

questão, em parceria com os usuários da bacia hidrográfica e as centrais hidroelétricas (CARVALHO et al., 2000).

Segundo CARVALHO et al. (2000), quando a descarga sólida em suspensão específica em uma estação é inferior a $70 \text{ t.km}^2\text{-ano}^{-1}$, a produção de sedimentos na área de drenagem pode ser considerada baixa; entre 70 e $175 \text{ t.km}^2\text{-ano}^{-1}$, moderada; entre 175 e $300 \text{ t.km}^2\text{-ano}^{-1}$, alta; e maior que $300 \text{ t.km}^2\text{-ano}^{-1}$, muito alta.

LIMA et al. (2005) concluíram, com base em estudo desenvolvido na Bacia do Rio Paranapanema, que a produção de sedimentos em suspensão é, em geral, baixa, com alguns valores próximos ao limite entre as classes baixa e moderada, variando de 13 a $77 \text{ t.km}^2\text{-ano}^{-1}$.

No estudo do diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio Piquiri, afluente do Rio Paraná, LIMA et al. (2004) observaram que o Rio Piquiri despeja no Rio Paraná, em média, cerca de 5.000 t.dia^{-1} de sedimentos em suspensão. A produção específica de sedimentos em suspensão ao longo da Bacia foi classificada no intervalo como baixa e moderada, com valores entre 43 e $135 \text{ t.km}^2\text{-ano}^{-1}$, e as concentrações de sedimentos em suspensão médias nas estações hidrossedimentométricas avaliadas ao longo da bacia variaram entre as classificações muito baixa e moderada, com valores entre 46 e 140 mg.L^{-1} .

CARVALHO et al. (2000) comentam que a mais óbvia medida preventiva no controle de sedimentos é, na maioria das vezes, desprezada pelos projetistas e diz respeito às regiões das cabeceiras dos rios: a alta bacia, que tem grande contribuição de escoamento, mas pequena proporção de carga sólida. Preservar as florestas nessas regiões é de grande importância para que não se tornem responsáveis por grande produção de sedimentos.

A estimativa da quantidade de sedimentos produzida e transportada ao longo do tempo dentro da bacia é feita com base em conceitos e fórmulas empregados para o cálculo da erosão em bacias hidrográficas.

Caracteriza-se como produção de sedimentos de uma bacia hidrográfica (ou taxa de liberação de sedimentos), a fração dos materiais provenientes da erosão do solo que encontra a saída da bacia de drenagem. Apenas uma pequena fração do material erodido deixa a bacia. Sua deposição e armazenamento temporário ou permanente podem ocorrer nas rampas, na planície de cheias ou mesmo nos canais.

Com o passar do tempo, os processos em ação no ciclo hidrossedimentológico acabam por moldar as feições das bacias hidrográficas, principalmente quando sua intensidade é maior do que os processos vinculados à dinâmica interna, resultando nas formas que hoje se observa:

- perfis longitudinais dos cursos d'água e dos interflúvios mais suaves que originalmente, em decorrência da erosão das cabeceiras e da formação de depósitos nas partes mais baixas;

- rede de drenagem mais densa e mais entalhada na parte superior da bacia do que na inferior, cercada por várzeas, cuja extensão lateral aumenta, geralmente, ao se aproximar o rio de sua foz;

- leitos que também vão se alargando de montante para jusante e cujo material de fundo vem simultaneamente diminuindo de tamanho (BORDAS; SEMMELMANN, 2002).

2.2 CONTROLE DA SEDIMENTAÇÃO EM CURSOS HÍDRICOS

BORDAS e SEMMELMANN (1993) listam os principais impactos e prejuízos da erosão e do transporte de sedimentos pelos rios:

- degradação do solo das lavouras;

- perdas de produção agrícola, decorrente do recobrimento de áreas agricultadas por sedimentos estéreis;

- encharcamento das áreas agrícolas, resultantes da obstrução dos drenos naturais;

- assoreamento de reservatórios;

- manutenção de sistemas de irrigação e drenagem;

- dragagem de vias navegáveis e portos;

- tratamento de água para uso industrial e doméstico;

- manutenção de rodovias, ferrovias e oleodutos; e

- remoção de sedimentos das zonas atingidas pelas inundações.

CARVALHO (1994) cita que os métodos de controle de sedimentação em reservatórios agrupam-se em seis classes distintas: seleção do local;

projeto do reservatório; controle da afluência de sedimentos; controle de deposição dos sedimentos; remoção dos depósitos; controle de erosão na bacia.

Ainda segundo o autor acima, a alternativa referente a locais poderia ser aplicada a pequenos reservatórios, como os de abastecimento de água, recreação, etc. Com a técnica de aproveitamento hidrelétrico de baixa queda, os reservatórios de mini-usinas enquadram-se nesse grupo.

CARVALHO (1994) cita que os métodos de conservação de solos nunca eliminarão completamente a erosão e podem ser difíceis de se justificar economicamente em certas zonas, além de, conjuntamente com o controle de erosão, ser um empreendimento de longo prazo. Projetistas e operadores de reservatórios devem, por isso, pensar nos métodos de proteção mais comuns e que possibilitam um controle mais direto.

2.3 MEDIÇÃO DA CARGA SÓLIDA E DA DESCARGA SÓLIDA

O sedimento presente no curso d'água é originado da erosão na bacia e da erosão no próprio leito do rio e de suas margens. Em ocasiões de chuvas as enxurradas transportam muitas partículas para o rio e esse sedimento se move em suspensão ou no leito, rolando, deslizando ou em saltos. Dependendo da velocidade da corrente e do efeito de turbulência, partículas do leito podem entrar no meio líquido e ficar em suspensão e aí permanecer até que voltem a se mover no leito quando as forças atuantes se reduzirem. As partículas se movem no leito também sob a ação da corrente, mas cada uma está sujeita à resistência de atrito, o que resulta em menor velocidade de movimento do que aquelas que estão em suspensão (CARVALHO et al., 2000).

As amostragens de sedimentos objetivam a determinação da descarga sólida, isto é, da quantidade de sedimentos que passam em uma seção transversal por unidade de tempo. A quantificação da vazão sólida presente em um rio é o passo inicial para prevenir e controlar os problemas causados pela deposição de sedimentos (CHELLA et al., 2005).

A descarga sólida total pode ser dividida em: descarga sólida de leito, descarga sólida em suspensão e descarga sólida dissolvida (SANTOS et al., 2001).

Para o cálculo da descarga sólida, usam-se diversos métodos de medição direta e indireta. A medição direta exige sempre um cálculo, enquanto que a indireta fundamenta-se na determinação de outras grandezas, sendo o cálculo da descarga sólida o resultado final (CARVALHO, 1994).

A medição da vazão e de outras grandezas durante essa determinação deve sempre ser obtida na ocasião da amostragem ou medição do sedimento. Tanto a medição da vazão quanto a da descarga sólida são valores considerados instantâneos, que são inter-relacionados. Assim, para o momento, são medidas: a vazão, as velocidades pontuais e médias, as larguras parciais e total e as profundidades nas verticais e médias. Outros valores, às vezes, são necessários, como a declividade da linha d'água ou do leito, dependendo do método de obtenção da descarga sólida que está sendo aplicado (CARVALHO, 1994).

Segundo CARVALHO et al. (2000), mede-se separadamente a descarga em suspensão da descarga do leito, pois as partículas desta estão sujeitas a forças de resistência ao seu movimento, enquanto aquelas estão livres no meio líquido.

Em suspensão no meio líquido, encontram-se em maior quantidade partículas finas, como argilas e siltes e pequena quantidade de material grosso, como areias. Em regime de grandes velocidades e turbulência a quantidade de areia em suspensão pode aumentar. O movimento de partículas em suspensão é considerado igual à velocidade da corrente.

2.4 MEDIÇÃO DA DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO

A carga de sedimentos em suspensão é a parcela de transporte de sedimentos mais conhecida, em função de sua importância, relativamente à carga dissolvida e pela facilidade de sua medição em campo, quando comparada a outros métodos de carga de leito (CHELLA et al., 2005).

A descarga em suspensão é efetuada para o conhecimento do valor do transporte em suspensão, concentração de sedimentos e da distribuição granulométrica. É a fase predominantemente das medições, pois o rio transporta sempre uma maior carga em suspensão. Estima-se que, na maior parte dos cursos d'água, essa parcela represente mais de 90 % da descarga sólida total (CARVALHO, 1994).

As grandezas fundamentais no cálculo da descarga sólida em suspensão são a concentração e a descarga líquida. Se o sedimento em suspensão fosse uniformemente distribuído na seção, uma amostra em qualquer ponto poderia representar a concentração. Como isso não ocorre, é necessário considerar a variação da concentração, por amostragens ao longo da seção, pontuais e verticais, em um número adequado de posições (CARVALHO et al., 2000).

Amostragem pontual de sedimento em suspensão exige a determinação da velocidade da corrente no mesmo ponto. Amostragens por integração na vertical exigem o conhecimento da velocidade média na vertical (CARVALHO, 1994).

Segundo Bordas e Semmelmann (1988) citados por TUCCI (2002), examinando-se os resultados da coletas de amostras de suspensão feitas sob diferentes condições, é possível definir coeficientes de compensação da variação lateral da concentração em uma seção transversal e definir o número mínimo de verticais de amostragem, ficando definido que em seções de até 30 m de largura são feitas as coletas em 10 a 15 verticais.

2.4.1 Cálculo da Velocidade de Trânsito

Conforme CARVALHO et al. (2000), o método de amostragem por integração na vertical, permite a obtenção da concentração e da granulometria média na vertical. Na amostragem por integração a amostra é coletada em certo tempo, normalmente superior a 10 segundos, o que permite a determinação da concentração média, mais representativa do que a pontual.

A amostragem é feita em várias verticais para permitir a obtenção de valores médios em toda a seção, porquanto a distribuição de sedimentos é variável em toda a largura do rio e em profundidade (Figura 1).

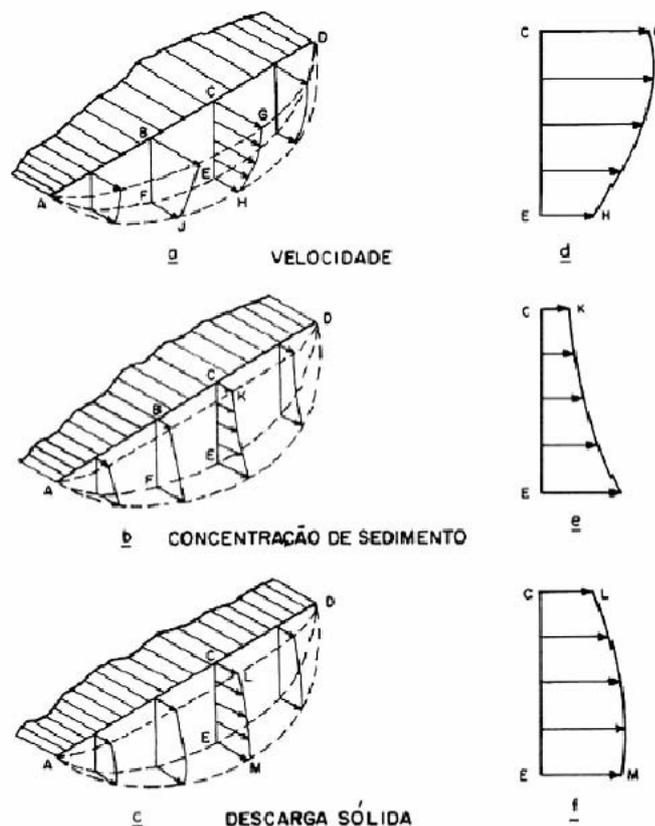


Figura 1 - Distribuição da velocidade da corrente, concentração de sedimentos e da descarga sólida em suspensão na seção transversal.

Fonte: CARVALHO (1994).

Na amostragem por integração na vertical, a mistura água-sedimento é acumulada continuamente no recipiente e o amostrador move-se verticalmente em uma velocidade de trânsito constante entre a superfície e um ponto a poucos centímetros acima do leito, entrando a mistura numa velocidade quase igual à velocidade instantânea da corrente em cada ponto na vertical. Esse procedimento é conhecido como Igual Velocidade de Trânsito (IVT). Normalmente, o amostrador não deve tocar o leito para não correr o risco de coletar sedimento de arrasto. Devido ao fato de o bico do amostrador ficar um

pouco acima do fundo, há uma zona não amostrada de poucos centímetros de profundidade logo acima do leito do rio.

Para que a velocidade de entrada da amostra seja igual ou quase igual à velocidade instantânea da corrente é necessário que o bico fique na horizontal, isto é, o amostrador deve se movimentar sem que haja inclinação. Isso ocorre quando a velocidade de trânsito ou de percurso é proporcional à velocidade média. Segundo estudos de laboratório, os bicos apresentam diferentes constantes de proporcionalidade, conforme as seguintes relações:

$$\text{Bico de } 1/8'': \quad v_t = 0,2 * v_m \quad (1)$$

$$\text{Bicos de } 3/16'' \text{ e } 1/4'': \quad v_t = 0,4 * v_m \quad (2)$$

Sendo:

v_t - velocidade máxima de trânsito ou de percurso do amostrador;

v_m - velocidade média da corrente na vertical de amostragem.

Para a prática de campo, calcula-se o tempo de amostragem que, por ser inversamente proporcional à velocidade, corresponderá a um tempo mínimo:

$$\text{Bico de } 1/8'': \quad t_{\min} = \frac{2.p}{v_t} = \frac{2.p}{0,2.v_m} \quad (3)$$

$$\text{Bicos de } 3/16'' \text{ e } 1/4'': \quad t_{\min} = \frac{2.p}{v_t} = \frac{2.p}{0,4.v_m} \quad (4)$$

em que $2.p$ é a distância percorrida de ida e volta pelo amostrador na profundidade p da superfície para o leito.

2.4.2 Coleta da Amostra no Rio

Para a coleta de amostras utiliza-se o equipamento chamado de amostrador, constituído por um recipiente com uma abertura de entrada da mistura água-sedimento e outra para saída de ar e/ou uma válvula de controle.

Segundo SIMONS e SENTURK (1976), os três amostradores de profundidade mais usados foram desenvolvidos pelo *Interagency Committee on Water Resources* em 1963 e são: U.S.DH-48, U.S.DH-49 e U.S.DH-59 e os três amostradores de integração pontual desenvolvidos pela agência são U.S.P-61, U.S.P-62 e U.S.P-63.

No Brasil são fabricados os modelos U.S.DH-48, U.S.DH-49 e U.S.DH-59, com a denominação de AMS-1, AMS-2 e MAS-3 (DNAE, 1977).

Numa coleta por integração vertical interessa sempre que se recolha uma amostra representativa. Procura-se, por isso, otimizar tal amostra enchendo-se a garrafa de 0,5 L o máximo possível. Como a garrafa (Figura 2) fica inclinada no bojo do equipamento, então o máximo que poderá conter será 400 ml. Assim, o tempo de coleta pode ser maior do que o calculado pelas equações 3 e 4. O tempo mínimo de coleta para 400 ml, calculado segundo essas equações, pode ser obtido do diagrama apresentado na Figura 3.

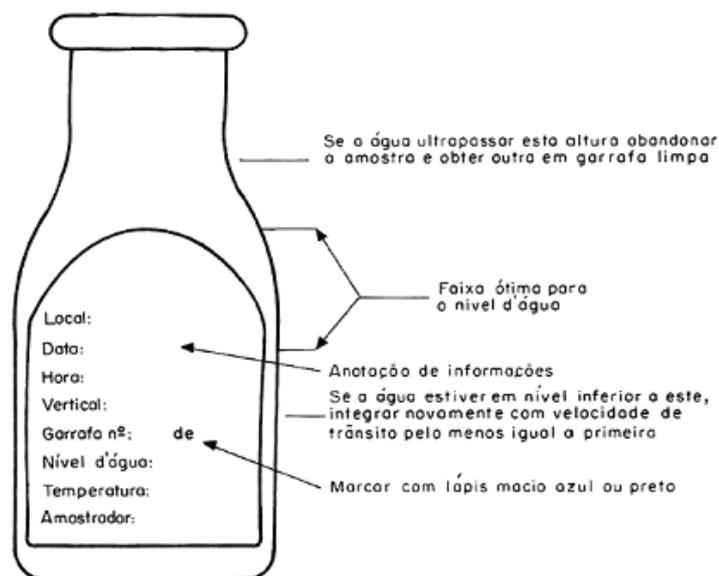


Figura 2 - Garrafa de amostragem indicando níveis a serem obedecidos.

Fonte: CARVALHO (1994).

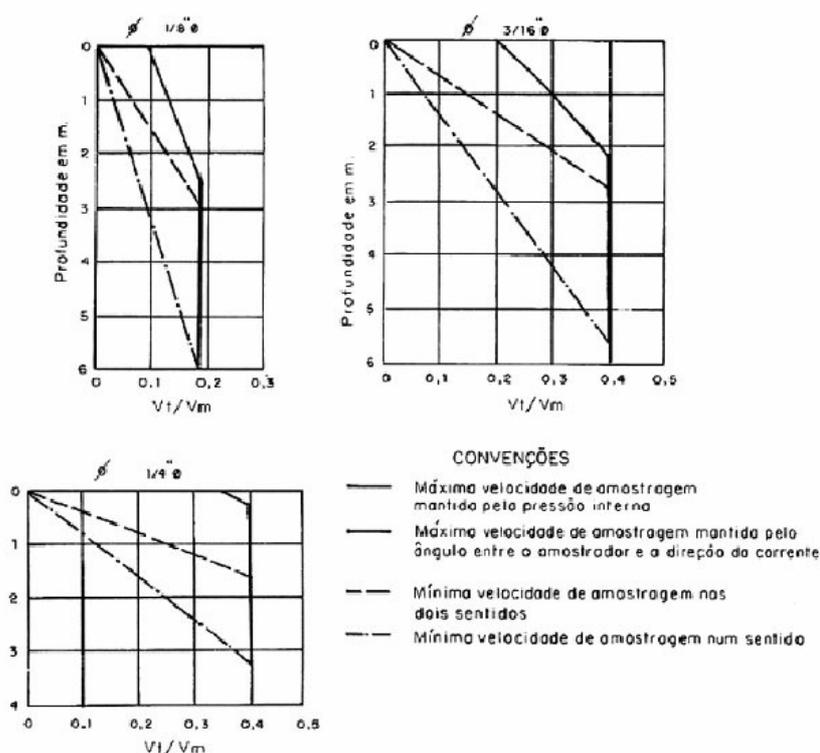


Figura 3 - Esquema de proporcionalidade entre velocidade de trânsito do amostrador e velocidade da corrente para os bicos padronizados.

Fonte: CARVALHO et al. (2000).

2.4.3 Cálculos para Obtenção da Concentração de Sólidos Suspensos

De acordo com Bordas e Semmelmann (1988) citados por TUCCI (2002), as partículas sólidas, em trânsito na parte superior da veia líquida, são mantidas em suspensão pela turbulência do escoamento e possuem uma velocidade de deslocamento longitudinal que se aproxima da velocidade das partículas líquidas que as sustentam (isso não é verdade para os sedimentos mais graúdos). Nessas condições e para o material de diâmetro D a descarga sólida em suspensão, por unidade de largura de seção transversal, pode ser obtida pela integração do produto da velocidade do fluido (u), pela concentração média (c) entre os limites superior (nível de água) e inferior (y_0) do transporte em suspensão.

A descarga em suspensão unitária é, portanto:

$$q_{ss} = \int_{y_0}^d u c dy \quad (5)$$

em que:

q_{ss} = descarga sólida em suspensão por unidade de largura da seção transversal de um rio (t/sm);

u = velocidade do escoamento num ponto de uma vertical da seção transversal de um rio (m/s);

C = concentração da descarga sólida em suspensão em um ponto de uma vertical da seção transversal de um rio (t/m³);

y = distância acima do leito;

$y_0 = d_o - 2D$ (m);

d_0 = profundidade total do escoamento numa seção transversal de um rio (m);

d = profundidade do escoamento numa vertical em que ocorre transporte em suspensão (m).

O valor de c é obtido pela seguinte expressão, conhecida como equação de Rouse:

$$\frac{C}{c_a} = \left(\frac{a - d - y}{d - a - y} \right)^z \quad (6)$$

em que:

c_a = concentração da suspensão numa vertical ao nível $y = a$ acima do leito;

y = elevação de um ponto acima do leito;

$z = w / (ku^*)$;

w = velocidade da queda de partículas de diâmetro D ;

k = constante de von Kármán (= 0,4);

$u^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ = velocidade do cisalhamento no fundo do rio;

$\tau_0 = \gamma h I$ = tensão de cisalhamento sobre o fundo;

ρ = massa específica do fluído;

h = raio hidráulico (no caso, igual à profundidade do escoamento);

I = declividade da linha de energia.

Define-se a descarga sólida média em suspensão (q_{ss}) por unidade de largura de uma seção transversal como:

$$q_{ss} = c \cdot q \quad (7)$$

em que:

q = vazão por unidade de largura da seção transversal de um rio ($m^3/s.m$);

c = a concentração média da suspensão por unidade de largura.

Para o cálculo da descarga sólida em suspensão de uma seção transversal, considera-se que ela é constituída por n faixas de largura unitária, caracterizadas cada uma por uma distribuição vertical de velocidades e/ou concentrações, obtendo-se a descarga em suspensão (Q_{ss}) pela seguinte expressão:

$$Q_{ss} = q_1 c_1 + q_2 c_2 \dots + q_n c_n \quad (8)$$

em que: Q_{ss} tem como medida t/s.

Na prática aplica-se a equação acima acrescentando-se a cada elemento o fator $l_1, l_2 \dots l_n$, que corresponde à largura, em metros, do segmento da seção transversal da qual a vertical de amostragem é considerada representativa. Para cada uma dessas verticais estabelecem-se, por meio de medições, os valores de concentração e vazão.

2.4.4 Caracterização da Curva-chave

Conforme CARVALHO (1994), curvas de transporte de sedimentos relacionam concentração, descarga sólida ou valores derivados de estudos sedimentológicos, em geral, com outras grandezas como tempo, descarga líquida, nível d'água, profundidade, velocidade e demais derivadas de estudos

afins. Podem ser obtidas pela simples ligação dos pontos ou por uma curva média interpolada entre os pontos plotados ou disponíveis.

A correlação mais conhecida é a curva-chave de sedimentos, que é traçada utilizando-se concentração ou descarga sólida em função da descarga líquida.

Na natureza, para cada vazão, num determinado momento, existe um valor distinto de descarga sólida, concluindo-se que a curva-chave não pode substituir os valores reais confiáveis. O fenômeno é muito aleatório, sendo que a curva-chave permite se obter valores médios. A curva será tanto mais representativa quanto maior o número de pontos medidos e maior a variação de vazão alcançada entre os valores mínimos e máximos.

O uso de curvas-chave é necessário quando os dados diários de vazão são disponíveis e os de sedimento não. A existência da curva-chave permite, assim, um cálculo aproximado de dados diários de sedimentos e da descarga sólida média anual. A extrapolação dos dados para anos não-observados é pouco aceitável, mas usual.

Uma vez determinados os valores de descarga sólida em suspensão de cada medição, são traçadas as curvas-chave de sedimentos das estações, segundo metodologia apresentada na literatura (WALLING, 1977; CARVALHO, 1994; ASSELMAN, 2000). As curvas-chave de sedimentos possuem várias formas, no entanto, a mais utilizada é a função potencial representada pela seguinte equação:

$$Q_{ss} = a.Q^b \quad (9)$$

em que a e b são constantes de ajuste.

Segundo PAIVA et al. (1998), as formas mais comuns de equação de curva-chave são:

$$Q = A.(H - H_0)^n \quad (10)$$

$$Q = A + B.H + C.H^2 + \dots \quad (11)$$

em que:

$$Q = \text{descarga};$$

$$H = \text{cota};$$

H_0 = cota correspondente à vazão nula (zero da régua);

A, B, C, n = constantes ajustadas para a seção.

A equação 10 é a forma mais utilizada, porém, apresenta o inconveniente que para valores de cota menor que H_0 , a vazão apresenta valores negativos. A equação 11, polinomial, apresenta o inconveniente de superestimar os valores das menores vazões, em função da constante A . Qualquer das duas equações ou mesmo outros tipos de equação podem fornecer bons resultados, desde que utilizadas dentro da faixa de valores de cotas para as quais forem desenvolvidas. O problema está no fato que usualmente, necessita-se extrapolar os dados de vazões para cotas não medidas, seja para cotas superiores ou para cotas inferiores. Nesse caso, a utilização pura e simples dos dados medidos pode levar a sérios erros. Assim, é necessário que a extrapolação da curva-chave considere as características físicas da seção.

WALSZON et al. (2005), em trabalho sobre a análise do fluxo de sedimentos em suspensão na bacia do rio Iguaçu, para o ajuste da curva aos dados medidos da vazão sólida de sedimentos em suspensão em função da vazão líquida, adotaram dois critérios para a aceitação ou não da curva. O primeiro estabeleceu que o coeficiente de determinação (R^2), obtido a partir da curva, deveria ser superior a 0,60. O segundo que a curva obtida deveria apresentar um bom ajuste visual aos dados medidos.

2.5 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA

O estudo das características fisiográficas das bacias permite o entender fenômenos passados, avaliar impactos de alterações antrópicas na fase de escoamento superficial da água e elaborar correlações entre vazões e características fisiográficas para estudos de regionalização e sintetização de fórmulas empíricas (PORTO et al., 1999).

Segundo PORTO et al. (1999), os fatores físicos mais importantes para a caracterização de uma bacia hidrográfica são: área, forma, declividade da

bacia, elevação, declividade do curso d'água, tipo da rede de drenagem e densidade de drenagem.

2.5.1 Área

A área da bacia corresponde à área plana definida pela projeção horizontal do divisor de águas, pois seu valor multiplicado pela lâmina da chuva precipitada define o volume de água recebido pela bacia. A determinação da área de drenagem de uma bacia é feita com o auxílio de uma planta topográfica e, algumas vezes, complementada com um mapa geológico de altimetria, traçando-se a linha divisória que passa pelos pontos de maior cota entre duas bacias vizinhas.

2.5.2 Forma

A forma da bacia influencia no escoamento superficial e, conseqüentemente, o hidrograma resultante de uma determinada chuva.

Entre os índices propostos para caracterizar a forma da bacia são calculados o fator de forma e os índices de compacidade e de conformação. Os índices são utilizados para comparar bacias e para compor os parâmetros das equações empíricas de correlação entre vazões e características físicas das bacias.

2.5.2.1 Fator de forma

O fator de forma é expresso como a razão entre a largura média da bacia e o comprimento axial e é medido da saída da bacia até seu ponto mais remoto, seguindo-se as grandes curvas do rio principal (não se consideram as curvas dos meandros). A largura média é obtida pela divisão da área da bacia

em faixas perpendiculares. O polígono formado pela união dos pontos extremos dessas perpendiculares se aproxima da forma da bacia real.

2.5.2.2 Índice de compacidade

O índice de compacidade é definido como a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência do círculo de área igual à bacia.

2.5.2.3 Índice de conformação

O índice de conformação compara a área da bacia com a área do quadrado de lado igual ao comprimento axial. Caso não existam outros fatores que interfiram, quanto mais próximo de 1 (um) o valor do índice de conformação, isto é, quanto mais a forma da bacia se aproximar da forma do quadrado do seu comprimento axial, maior a potencialidade de produção de picos de cheias.

2.5.3 Declividade da Bacia

A declividade da bacia ou dos terrenos da bacia tem uma relação importante e também complexa com a infiltração, o escoamento superficial, a umidade do solo e a contribuição de água subterrânea ao escoamento do curso d'água. É um dos fatores mais importantes que controla o tempo do escoamento superficial e da concentração da chuva e tem uma importância direta em relação à magnitude da enchente. Quanto maior a declividade, maior a variação das vazões instantâneas.

2.5.4 Declividade do Curso D'água

A velocidade de escoamento da água de um rio depende da declividade dos canais fluviais. Quanto maior for a declividade, maior será a velocidade de escoamento. Assim, os hidrogramas de enchente são mais pronunciados e estreitos, indicando maiores variações de vazões instantâneas.

2.5.5 Tipo de Rede de Drenagem

2.5.5.1 Ordem dos cursos d'água

A classificação dos rios quanto à ordem reflete no grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia. Os cursos d'água maiores possuem seus tributários que por sua vez possuem outros até que se chegue aos minúsculos cursos d'água da extremidade.

2.5.5.2 Densidade de cursos d'água

A densidade de cursos d'água é determinada pela relação entre o número de cursos d'água e a área total da bacia, porém não indica a eficiência da drenagem, pois a extensão dos cursos d'água não é considerada.

2.5.5.3 Densidade de drenagem

A densidade de drenagem indica a eficiência da drenagem na bacia. É definida pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água (pode ser medido na planta topográfica com um barbante ou um curvímeter) e a área de drenagem.

Quanto mais eficiente o sistema de drenagem, isto é, quanto maior a densidade de drenagem da bacia, mais rapidamente a água do escoamento superficial originada da chuva chegará à saída da bacia, gerando hidrogramas com picos maiores e em instantes mais cedo (PORTO et al., 1999).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio São Francisco Falso está localizada no estado do Paraná e possui uma área de 520,96 km², um perímetro de 103,44 km e está inserida na bacia do Paraná III (Figura 4). O rio São Francisco Falso possui 59,78 km de extensão.

A bacia localiza-se no retângulo envolvente formado pelas coordenadas: latitude $\varphi = -24^{\circ} 56'21''$; $-25^{\circ} 11'55''$ e longitude $\lambda = -53^{\circ} 48'42''$; $-54^{\circ} 09'07''$.

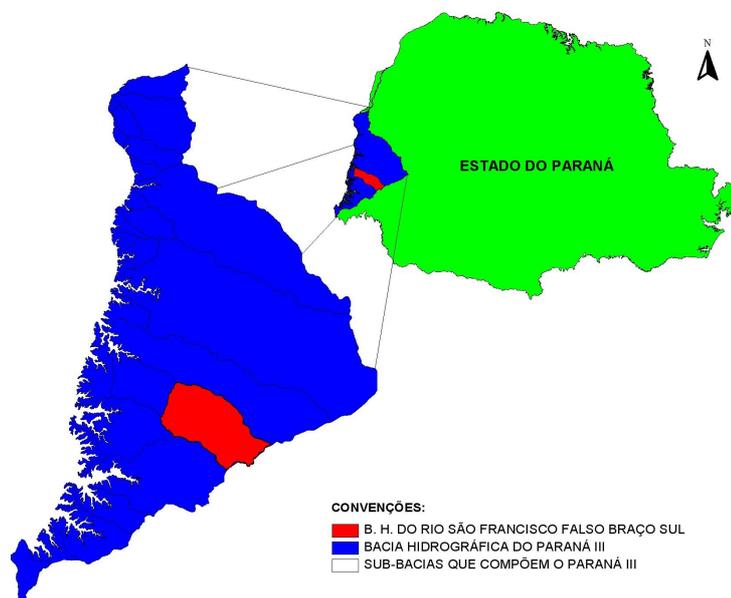


Figura 4 - Localização da bacia do rio São Francisco Falso Sul.

FONTE: CASCAVEL (2005), ADAPTADO.

3.2 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA

Os dados cartográficos da bacia estão inseridos em quatro cartas topográficas, produzidas na escala 1:50.000 pelo exército brasileiro sendo elas: São José (MI 2816/4), Ouro Verde (MI 2817/3), Mara Lúcia (MI 2832/2) e Céu Azul (MI 2833/1) (Figura 5). Essas cartas possuem informações básicas referentes a cadastro, hidrografia e altimetria (curvas de nível) que permitem a visualização do espaço físico do terreno. As quatro cartas em formato papel foram digitalizadas e foram unidas por pontos de controle capturados nos vértices da malha de coordenada. O mosaico produzido foi georreferenciado pelas coordenadas das cartas e as informações como hidrografia e curvas de nível foram vetorizadas para posteriormente serem manipuladas em ambiente computacional utilizando o *software ArcView 3.2* (1996).

Com base nesses dados, a bacia hidrográfica foi delimitada utilizando-se como referência as curvas de nível (eqüidistância de 20 metros) e os pontos cotados para identificar os divisores de água. O desenho geométrico encontrado é mostrado na Figura 5, na qual é visualiza-se a localização da bacia no espaço geográfico da bacia hidrográfica do Paraná III e do estado do Paraná.



Figura 5 - Mapa Cartográfico da Bacia.

FONTE: CASCAVEL (2005), ADAPTADO.

3.2.1 Características da Forma da Bacia Hidrográfica

Com o levantamento em campo dos dados da bacia hidrográfica foram determinadas suas características através das equações, sugeridas por PORTO et al. (1999), conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros, e equações para determinar as características de forma da bacia hidrográfica

PARÂMETRO	EQUAÇÃO	EM QUE:
Fator de forma (FF)	$F_F \equiv \frac{B}{L}$	L: comprimento da bacia; B: largura média.
Índice de compacidade (Kc)	$K_C \equiv 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$	P: perímetro da bacia em km; A: área da bacia em km ² .
Índice de conformidade (Fc)	$F_C \equiv \frac{A}{L^2}$	A: área da bacia em km ² ; L: comprimento axial.
Hipsometria	$\Delta H = C_{m\acute{a}x} - C_{m\acute{i}n}$	Cmáx = cota de ponto máximo; Cmin = cota de ponto mínimo
Declividade do curso d'água (S1)	$S_1 \equiv \frac{\Delta H}{L}$	ΔH : variação da cota entre os dois pontos extremos; L: comprimento em planta do rio.
Densidade de cursos d'água	$D_s \equiv \frac{N_s}{A}$	Ns: número de cursos d'água; A: área da bacia.
Densidade de drenagem	$D_d \equiv \frac{L}{A}$	L: comprimento total dos cursos d'água; A: área de drenagem (área da bacia).
Ordem dos cursos d'água	Canais que não possuem tributários são considerados de primeira ordem, dois canais de primeira ordem se unem é formado um segmento de segunda ordem, a união de dois rios de mesma ordem resulta em um rio de ordem imediatamente superior, quando dois rios de ordem diferente se unem formam um rio com ordem maior dos dois.	



3.3 DETERMINAÇÃO DA DESCARGA LÍQUIDA

3.3.1 Coleta de Dados no Rio

Os dados de vazão líquida foram obtidos na seção de controle junto à estação de monitoramento (Figuras 6A, 6B e 7) localizada nas coordenadas geográficas: latitude $\varphi = -24^{\circ} 56'21''$; $-25^{\circ} 11'55''$ e longitude $\lambda = -53^{\circ} 48'42''$; $-54^{\circ}09'07''$. O período de coleta dos dados concentrou-se nos meses de novembro/2006, dezembro/2006 e janeiro/2007, escolhidos por serem considerados importantes para este estudo, pois se referem ao período de implantação das culturas de verão na Bacia. Na região onde se encontra a bacia, nesse período o solo está sendo preparado para o plantio, ficando desnudo e, assim, apresentando uma grande exposição às precipitações, sendo importante observar por motivos, tais como: a perda de solo fértil, que representa um grande prejuízo para a agricultura e o depósito de sedimentos no rio que interfere na qualidade da água, reduzindo a capacidade de armazenamento de água da bacia.

A determinação da vazão é feita em duas etapas: na primeira, faz-se uma batimetria da seção do rio, possibilitando o cálculo da área da seção. Na segunda etapa determina-se a velocidade do rio em vários pontos da seção com o auxílio de um molinete e, em seguida, determina-se a velocidade média.

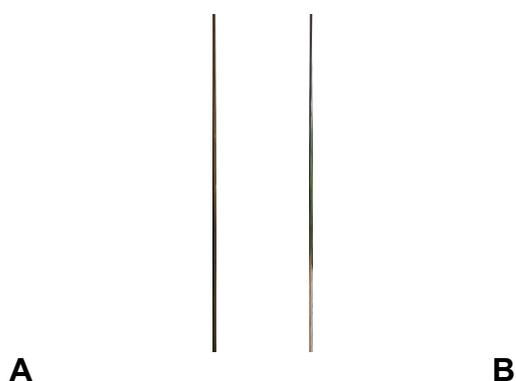


Figura 6 - Datalogs em caixa metálica (A) e tubo vertical fixado ao pilar ponte para o turbidímetro e o linígrafo instalados (B).

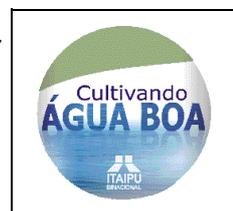




Figura 7 - Corpo do turbidímetro.

Em cada medição foi realizada uma batimetria da seção do rio, a partir da instalação de um cabo de aço (Figura 8), demarcando as verticais em pontos distanciados a cada 1,50 m (em função da largura do rio), nos quais foram obtidas as respectivas profundidades. A área da seção molhada foi calculada utilizando-se uma aproximação por trapézios retângulos, sendo a primeira e última subsecção um triângulo (Figura 9) correspondente à profundidade média entre as verticais demarcadas.



Figura 8 - Cabo de aço para demarcação da seção molhada.

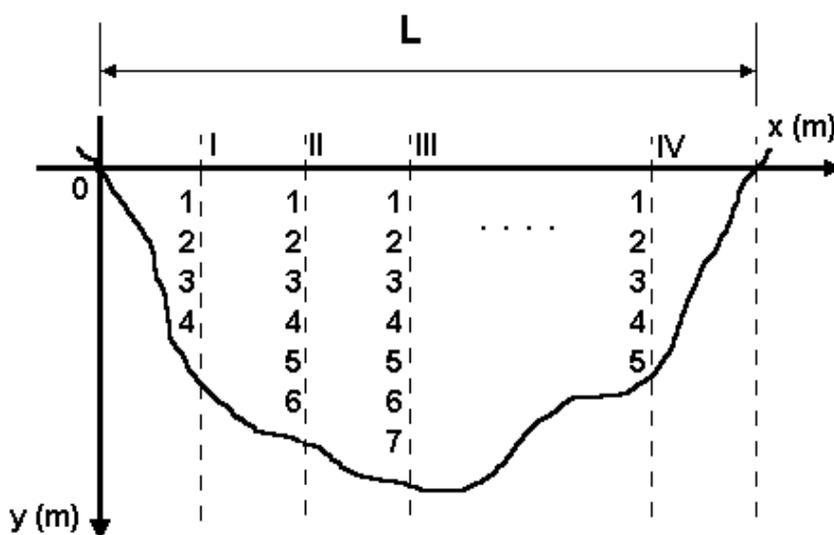


Figura 9 - Esquema representativo da seção transversal do curso d'água.

3.3.2 Medição de Velocidades

Em cada evento de coleta no rio, mediu-se a velocidade da água em cada vertical delimitada no cabo de aço com um molinete hidrométrico de eixo horizontal, Marca MLN-7 (Figura 10). A partir da contagem de pulso obtida em cada ponto de medição, em um tempo fixado em 40 s, obteve-se o número de rotações por segundo que, aplicado a uma das equações do molinete (Tabela 2), resultou no valor da velocidade de fluxo referente à subsecção.

Tabela 2 - Equação da velocidade do molinete

RPS	EQUAÇÃO	R ²
≤ 0,65	$v(\text{m/s}) = 0,027351188 + 0,224036774 \cdot N \text{ (rps)}$	0,9994
> 0,65	$v(\text{m/s}) = -0,015424907 + 0,290342202 \cdot N \text{ (rps)}$	0,9996



Figura 10 - Equipamento molinete.

3.3.3 Cálculo da Vazão

Pela definição de vazão tem-se:

$$Q = \int_A \mathbf{v} \cdot d\mathbf{A} \quad (19)$$

Para a seção estudada, pode-se escrever a equação acima da seguinte forma:

$$Q = \int_0^x \int_0^y \mathbf{v} \cdot dy \cdot dx \quad (20)$$

Para resolver a integral em y, determinam-se os perfis de velocidade para cada seção, como mostra a Figura 11.

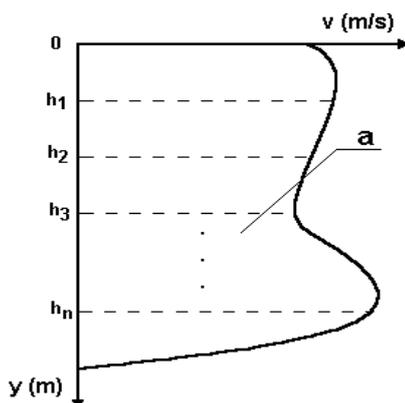


Figura 11 - Perfis de velocidade de fluxo de água na seção do rio.

A área sob a curva de cada perfil de velocidade representa a integral $\int_0^y v \cdot dy$, em m^2/s . Pode-se, então, obter um novo gráfico relacionando-se as áreas dos perfis de velocidade em função das posições horizontais em relação à referência, como mostra a Figura 12.

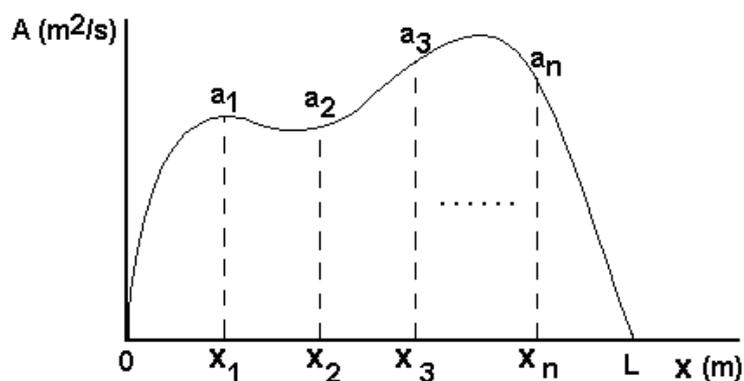


Figura 12 - Representação do perfil referente ao produto da área pela velocidade na seção do rio.

A área sob esta curva é numericamente igual à vazão no canal em m^3/s .

3.4 DETERMINAÇÃO DA DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO

A medição de sedimento em suspensão foi realizada pela coleta de amostras da mistura água-sedimento, nas verticais demarcadas no cabo de aço, empregando-se o método da integração vertical com o mesmo incremento de largura e posterior análise de concentração em laboratório, e cálculos de descarga sólida.

A metodologia aplicada nesta pesquisa é a mesma empregada pela Agência Nacional de Águas – ANA que consiste no levantamento de dados fluviométricos e hidrossedimentométricos, pelo método da integração vertical na seção do rio e utilizando o mesmo incremento de largura.

3.4.1 Coleta de Amostra

A mistura água-sedimento é acumulada continuamente num recipiente, e o amostrador move se verticalmente (Figura 13) em uma velocidade de trânsito constante entre a superfície e um ponto a poucos centímetros acima do leito, entrando a mistura numa velocidade quase igual à velocidade instantânea da corrente em cada ponto na vertical.

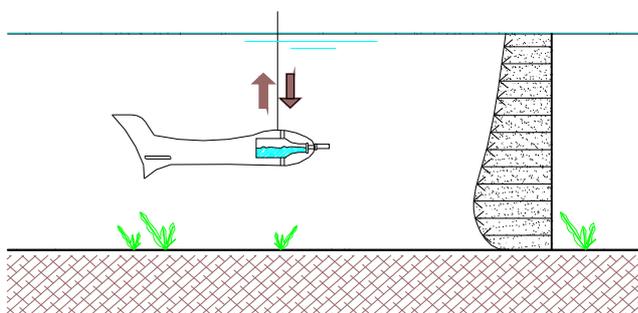


Figura 13 - Movimento vertical do amostrador.

Para evitar que o recipiente colete amostras de sedimento em arrasto, o amostrador não deve tocar o leito do rio. Por essa razão, há uma zona não amostrada de poucos centímetros de profundidade logo acima do leito.

Para realizar a captação da amostra, é necessário que o bico do amostrador fique na posição vertical, não havendo inclinações em sua movimentação.

Para coletar as amostras foi utilizado o amostrador DH-48 que captura a amostra em alguns segundos por um bico e a armazena em um recipiente (garrafa de vidro), conforme (Figura 14).



Figura 14 - Amostrador DH-48.

É importante destacar que para que a coleta seja bem sucedida, deve-se calcular a velocidade de trânsito do amostrador, para que todo o perfil seja avaliado, observando-se que, quando a garrafa fica totalmente cheia a amostra é desprezada, realizando-se outra coleta, pois não se pode afirmar que todo o perfil foi amostrado (Figura 15A e 15B).



Figura 15 - Coleta da amostra utilizando o amostrador e amostra desprezada.

Feita a coleta das amostras, elas foram identificadas de acordo com o número do ponto, a data e o horário da amostragem, nos 12 pontos de amostragem da secção.

3.5 ANÁLISE DE LABORATÓRIO

As amostras foram transportadas para o laboratório de hidrossedimentologia da UNIOESTE, onde ficaram dispostas em garrafas, devidamente abrigadas da luz, para evitar qualquer tipo de alteração biológica, e durante 96 h ficaram em processo de decantação (Figura 16).



Figura 16 - Amostras recém chegadas do campo. Início da decantação.

3.5.1 Redução da Amostra: 1ª Fase

Após 96 h de decantação (Figura 17), ocorre a primeira redução da amostra e, por um sifão, é retirada a maior quantidade possível de água de cada garrafa. O pequeno volume de água-sedimento que restou é transferido para um béquer de 1000 ml. Nesta fase determina-se o volume total de água-sedimento retirado neste evento, ou seja, a descarga líquida (Figura 18).



Figura 17 - Momento de fazer a 1ª redução.



Figura 18 - Momento de fazer a 2ª redução.

3.5.2 Redução da Amostra: 2ª Fase

Após 24 horas em repouso, a amostra sofre a 2ª redução. sendo que a amostra será reduzida a 100 ml de água-sedimento, utilizando-se uma proveta, neste momento inicia-se o processo para determinação de descarga sólida.

3.5.3 Determinação da Descarga Sólida

Para a determinação da descarga sólida utilizou-se o processo de evaporação.

3.5.4 Processo de Evaporação

O cadinho que é o recipiente que irá armazenar a amostra na estufa e cuja temperatura chega a 110 °C deverá ser preparado previamente para que não haja nenhum erro final na leitura. Após ser lavado o cadinho deve ir para estufa durante 2 h para secar e depois ser levado para o dessecador, onde irá esfriar, permanecendo aí por, no mínimo, 40 minutos. Após esse processo de preparação ele deve ser pesado em uma balança de precisão.

Após esse procedimento, coloca-se a amostra na estufa (dentro do cadinho) por 24 h, onde ocorrerá a evaporação do líquido, sobrando o sedimento. Após esse período, a amostra é retirada da estufa e a colocada no dessecador para o cadinho esfriar. Em seguida o cadinho é pesado novamente. O peso do sedimento será a diferença entre o peso do cadinho e o peso do cadinho com o sedimento.

3.6 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS

Com o valor da descarga sólida dividido pela descarga líquida encontra-se o valor da concentração de sólidos suspensos da amostra daquele evento.

Define-se a descarga sólida média em suspensão q_{ss} por unidade de largura de uma seção transversal como:

$$q_{ss} = c * q \quad (19)$$

em que:

q = vazão por unidade de largura da seção transversal de um rio ($m^3 / s.m$);

c = concentração média da suspensão por unidade de largura.

Para o cálculo da descarga sólida em suspensão de uma seção transversal (Figura 19), considera-se que ela é constituída por n faixas de largura unitária, caracterizadas cada uma por uma distribuição vertical de velocidades e/ou concentrações, de modo que, conforme BORDAS e SEMMEMANN (1988), pode-se obter a descarga em suspensão (Q_{ss}) pela seguinte expressão:

$$Q_{ss} = q_1 c_1 + q_2 c_2 \dots + q_n c_n \quad (20)$$

em que Q_{ss} é medido em t/s.

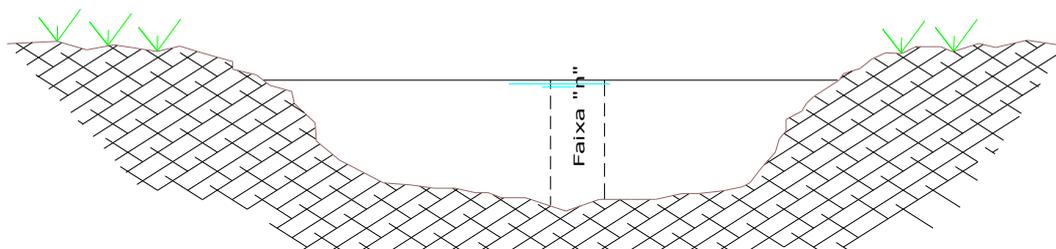


Figura 19 - Seção transversal do rio.

3.7 DETERMINAÇÃO DA CURVA-CHAVE

3.7.1 Curva-Chave Sedimentos – Vazão

Com os dados de vazão e respectivos valores de descarga sólida em suspensão, obtidos em cada medição, foi construída a curva-chave para o local referente à seção de controle.

O ajuste da curva-chave foi obtido pela seguinte equação:

$$Q_{ss} = a.Q^b \quad (21)$$

em que a e b são constantes de ajuste.

3.7.2 Curva Chave Leitura do Turbidímetro – Vazão

Com os dados de vazão, obtidos a partir das leituras horárias do linígrafo e com os respectivos pulsos elétricos obtidos no turbidímetro da estação automática instalado na seção do rio, determinou-se a curva-chave pela seguinte equação:

$$Q_{ss} = a.T^b \quad (22)$$

em que a e b são constantes de ajuste.

3.7.3 Curva Chave Leitura do Turbidímetro – Sedimento

Com os dados de vazão, obtidos ao longo do ano, calcularam-se as respectivas cargas de sedimentos empregando-se a curva-chave sedimento-vazão, com os mesmos dados de vazão e utilizando-se a curva-chave turbidímetro e vazão foram obtidos os respectivos dados de

vazão; correlacionando os dados de carga de sedimento e leitura do turbidímetro confeccionou-se a curva-chave turbidímetro-sedimento, utilizando a seguinte equação matemática:

$$Q_{ss} = a \cdot \ln(Lt) + b \quad (23)$$

em que a e b são constantes de ajuste.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS FISIográfICAS DA BACIA

As características fisiográficas da bacia do rio São Francisco Falso são apresentadas nos mapas das Figuras 20 a 25 e os valores de característica de forma, relevo e sistema de drenagem são mostrados na Tabela 3.



Figura 20 - Mapa da representando a hidrografia da bacia.

Fonte: CASCAVEL (2005), ADAPTADO.

Figura 21 - Mapa da bacia, determinando a média da largura e a medida do comprimento de maior dimensão.

Fonte: CASCAVEL (2005), ADAPTADO.

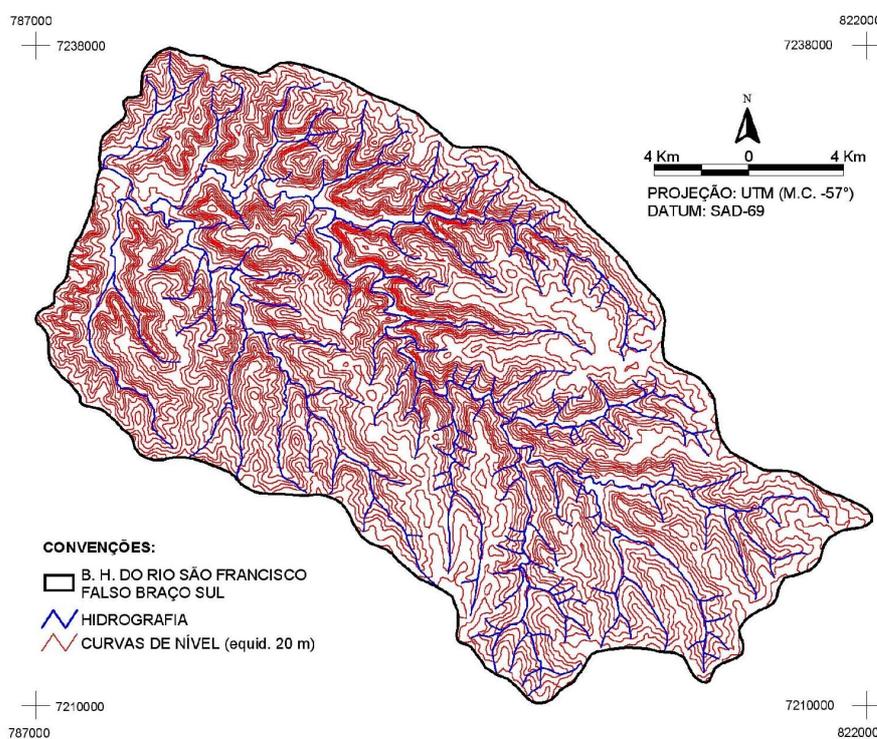


Figura 22 - Mapa para a determinação das curvas de nível da bacia.

Fonte: CASCAVEL (2005), ADAPTADO.

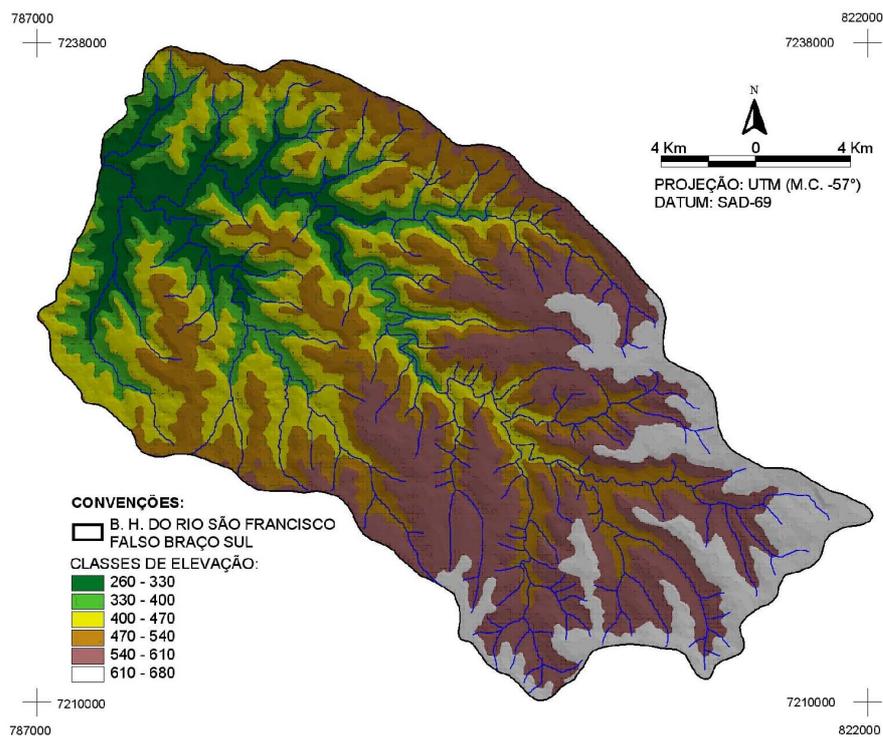


Figura 23 - Mapa hipsométrico da bacia.

Fonte: CASCAVEL (2005), ADAPTADO.

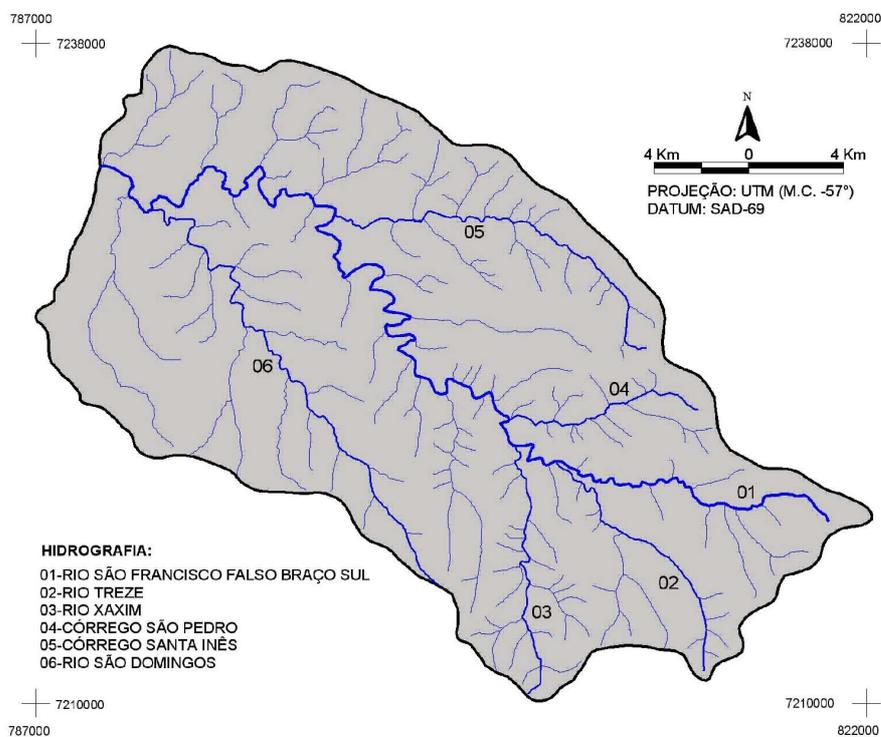


Figura 24 - Mapa hidrográfico determinando os rios contribuintes da bacia.

Fonte: CASCAVEL (2005), ADAPTADO.



Figura 25 - Mapa hidrográfico determinando a ordem dos rios formadores da bacia.

Fonte: CASCAVEL (2005), ADAPTADO.

Tabela 3 - Valores que caracterizam a fisiografia da bacia

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	VALORES
Perímetro	103,44 km
Área	520,96 km ²
Fator de forma (FF)	0,42
Índice de compacidade (Kc)	1,27
Índice de conformidade (Fc)	0,32
Elevação máxima	680 m
Elevação mínima	260 m
Hipsometria (ΔH)	420 m
Comprimento axial	40,05 km
Comprimento do rio principal	59,78 km
Declividade do curso d'água principal (S1)	7,03 m/km
Densidade de cursos d'água (Ds)	0,28
Densidade de drenagem (Dd)	0,85 km/km ²
Ordem do rio principal	4 ^a

Os valores das características fisiográficas da bacia (Tabela 3), demonstram que a bacia apresenta um bom sistema de drenagem com o rio principal de ordem 4, como se pode verificar no mapa da hidrografia exibido na

Figura 20. Os parâmetros de forma (fator de forma, índice de compacidade e índice de conformidade) indicam uma bacia de forma alongada com baixa declividade do rio principal e área da bacia superior a 500 km², indicando uma bacia com baixa susceptibilidade à formação de cheia, apesar do sistema de drenagem desenvolvido. Essas informações corroboram PORTO et al. (1999).

4.2 BATIMETRIA

Os dados de batimetria obtidos nas diferentes medições do rio são apresentados na Tabela 4, e foram realizadas em 12 e 13 verticais espaçadas 1,50 m uma da outra, em função da largura da área molhada.

4.3 MEDIÇÃO DE VELOCIDADES DO FLUXO D'ÁGUA

Os valores de velocidades obtidos com o molinete fluviométrico posicionado a 0,6 m da profundidade de cada vertical, juntamente com as respectivas leituras do número de rotações, áreas das secções entre verticais e resultado final de vazão são apresentados na Tabela 5.

Tabela 4 - Valores das batimetrias e áreas delimitadas pelas verticais

1ª Batimetria - 09/11/2006 - 12:30													
Verticais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Dist. (m)	2,25	3,75	5,25	6,75	8,25	9,75	11,25	12,75	14,25	15,75	17,25	19,50	-
Prof. (m)	0,31	0,43	0,64	0,63	0,47	0,46	0,29	0,42	0,54	0,48	0,51	0,39	-
Área (m²)	0,35	0,56	0,80	0,95	0,83	0,70	0,56	0,53	0,72	0,77	0,74	0,44	-
2ª Batimetria - 16/11/2006 - 14:00													
Dist. (m)	2,25	3,75	5,25	6,75	8,25	9,75	11,3	12,8	14,3	15,8	17,3	19,5	-
Prof. (m)	0,34	0,46	0,63	0,65	0,52	0,52	0,33	0,46	0,56	0,51	0,54	0,31	-
Área (m²)	0,38	0,60	0,82	0,96	0,88	0,78	0,64	0,59	0,77	0,80	0,79	0,35	-
3ª Batimetria - 20/11/2006 - 14:30													
Dist. (m)	2,25	3,75	5,25	6,75	8,25	9,75	11,25	12,75	14,25	15,75	17,25	20,00	-
Prof.(m)	0,45	0,67	0,60	0,66	0,57	0,53	0,72	0,86	0,90	0,90	0,84	0,75	-
Área (m²)	0,51	0,84	0,95	0,92	0,83	0,94	0,64	1,19	1,32	1,35	1,31	1,03	-
4ª Batimetria - 15/12/2006 - 14:30													
Dist. (m)	2,25	3,75	5,25	6,75	8,25	9,75	11,25	12,75	14,25	15,75	17,25	18,75	20,80
Prof.(m)	0,78	0,74	0,80	0,85	0,84	0,60	0,43	0,58	0,71	0,70	0,74	0,84	0,41
Área (m²)	0,88	1,14	1,16	1,24	1,27	1,08	0,77	0,76	0,97	1,06	1,08	1,19	0,42
5ª Batimetria - 22/12/2006 - 15:00													
Dist. (m)	2,25	3,75	5,25	6,75	8,25	9,75	11,25	12,75	14,25	15,75	17,25	18,75	21,80
Prof.(m)	0,45	0,53	0,67	0,61	0,50	0,48	0,48	0,60	0,81	0,78	0,66	0,70	0,72
Área (m²)	0,51	0,74	0,90	0,96	0,83	0,74	0,72	0,81	1,06	1,19	1,08	1,02	1,10
6ª Batimetria - 27/12/2006 - 12:00													
Dist. (m)	2,25	3,75	5,25	6,75	8,25	9,75	11,25	12,75	14,25	15,75	17,25	18,75	20,80
Prof.(m)	0,62	0,78	0,92	0,73	0,70	0,70	0,58	0,73	0,92	1,00	1,01	0,77	0,48
Área (m²)	0,70	1,05	1,28	1,24	1,07	1,05	0,96	0,98	1,24	1,44	1,51	1,34	0,49
7ª Batimetria - 04/01/07 - 11:00													
Dist. (m)	2,25	3,75	5,25	6,75	8,25	9,75	11,25	12,75	14,25	15,75	17,25	18,75	20,70
Prof.(m)	0,46	0,65	0,76	0,57	0,55	0,55	0,50	0,62	0,77	0,77	0,85	0,63	0,28
Área (m²)	0,52	0,83	1,06	1,00	0,84	0,83	0,79	0,84	1,04	1,16	1,22	1,11	0,27
8ª Batimetria - 15/01/07 - 14:00													
Dist. (m)	2,25	3,75	5,25	6,75	8,25	9,75	11,25	12,75	14,25	15,75	17,25	18,75	21,80
Prof.(m)	0,45	0,53	0,67	0,61	0,50	0,48	0,48	0,60	0,81	0,78	0,66	0,70	0,72
Área (m²)	0,51	0,74	0,90	0,96	0,83	0,74	0,72	0,81	1,06	1,19	1,08	1,02	1,10
9ª Batimetria - 24/01/07 - 16:30													
Dist. (m)	2,25	3,75	5,25	6,75	8,25	9,75	11,25	12,75	14,25	15,75	17,25	18,75	21,00
Prof.(m)	0,39	0,59	0,68	0,49	0,45	0,46	0,44	0,50	0,64	0,55	0,65	0,55	0,20
Área (m²)	0,44	0,73	0,95	0,88	0,70	0,68	0,67	0,70	0,86	0,89	0,90	0,90	0,19
10ª Batimetria - 01/02/07 - 15:00													
Dist. (m)	2,25	3,75	5,25	6,75	8,25	9,75	11,25	12,75	14,25	15,75	17,25	18,75	21,30
Prof.(m)	0,50	0,67	0,80	0,70	0,68	0,65	0,56	0,66	0,80	0,91	0,75	0,74	0,51
Área (m²)	0,56	0,88	1,10	1,13	1,04	1,00	0,91	0,92	1,10	1,28	1,25	1,12	0,65
11ª Batimetria - 09/02/07 - 16:00													
Dist. (m)	2,25	3,75	5,25	6,75	8,25	9,75	11,25	12,75	14,25	15,75	17,25	18,75	21,15
Prof.(m)	0,50	0,64	0,79	0,62	0,59	0,49	0,43	0,57	0,70	0,82	0,89	0,69	0,32
Área (m²)	0,56	0,85	1,07	1,05	0,91	0,81	0,69	0,75	0,95	1,14	1,28	1,18	0,32

Tabela 5 - Valores de rotação, velocidade média e vazão nas seções delimitadas pelas verticais

1ª Batimetria – 09/11/2006 – 12:30													
Vert.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Rot.	3	6	128	87	121	92	10	12	45	26	70	3	-
Veloc. (m/s)	0,04	0,06	0,91	0,61	0,86	0,65	0,08	0,09	0,31	0,36	0,30	0,04	-
Área (m²)	0,35	0,56	0,80	0,95	0,83	0,70	0,56	0,53	0,72	0,77	0,74	0,44	-
Vazão (m³/s)	0,02	0,04	0,73	0,59	0,71	0,45	0,05	0,05	0,22	0,28	0,22	0,02	-
2ª Batimetria – 16/11/2006 – 14:00													
Rot.	45	92	105	94	80	66	67	41	44	37	53	4	-
Veloc. (m/s)	0,31	0,65	0,75	0,66	0,56	0,46	0,47	0,28	0,30	0,25	0,37	0,05	-
Área (m²)	0,38	0,60	0,82	0,96	0,88	0,78	0,64	0,59	0,77	0,80	0,54	0,35	-
Vazão (m³/s)	0,11	0,39	0,61	0,63	0,49	0,36	0,30	0,16	0,23	0,20	0,29	0,02	-
3ª Batimetria – 20/11/2006 – 14:30													
Rot.	118	156	168	141	139	116	73	96	89	84	90	48	-
Veloc. (m/s)	0,84	1,12	1,20	1,00	0,99	0,82	0,51	0,68	0,63	0,59	0,64	0,33	-
Área (m²)	0,51	0,84	0,95	0,95	0,92	0,83	0,94	1,19	1,32	1,35	1,31	1,03	-
Vazão (m³/s)	0,42	0,94	1,15	0,94	0,92	0,68	0,48	0,80	0,83	0,80	0,83	0,34	-
4ª Batimetria – 15/12/2006 – 14:30													
Rot.	31	61	71	80	56	83	124	123	137	141	133	144	99
Veloc. (m/s)	0,21	0,43	0,50	0,56	0,39	0,59	0,88	0,87	0,98	1,00	0,95	1,03	0,70
Área (m²)	0,88	1,14	1,16	1,24	1,27	1,08	0,77	0,76	0,97	1,06	1,08	1,19	0,42
Vazão (m³/s)	0,18	0,49	0,58	0,69	0,49	0,64	0,68	0,66	0,95	1,06	1,03	1,22	0,29
5ª Batimetria – 22/12/2006 – 15:00													
Rot.	114	133	147	126	143	134	103	70	81	75	82	59	76
Veloc. (m/s)	0,81	0,95	1,05	0,9	1,02	0,96	0,73	0,49	0,57	0,53	0,58	0,41	0,54
Área (m²)	0,51	0,74	0,90	0,96	0,83	0,74	0,72	0,81	1,06	1,19	1,08	1,02	1,10
Vazão (m³/s)	0,41	0,70	0,95	0,86	0,85	0,70	0,53	0,40	0,60	0,63	0,63	0,42	0,59
6ª Batimetria – 27/12/2006 - 12:00													
Rot.	147	177	166	151	173	152	129	119	111	112	128	52	12
Veloc. (m/s)	1,05	1,27	1,19	1,08	1,23	1,09	0,92	0,85	0,79	0,8	0,91	0,36	0,09
Área (m²)	0,70	1,05	1,28	1,24	1,07	1,05	0,96	0,98	1,24	1,44	1,51	1,34	0,49
Vazão (m³/s)	0,73	1,10	1,34	1,30	1,13	1,10	1,01	1,03	1,30	1,51	1,59	1,40	0,52
7ª Batimetria – 04/01/07 – 11:00													
Vert.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Rot.	117	119	136	106	124	106	110	72	88	71	69	71	5
Veloc. (m/s)	0,12	0,85	0,97	0,76	0,88	0,75	0,78	0,51	0,62	0,50	0,49	0,50	0,06
Área (m²)	0,52	0,83	1,06	1,00	0,84	0,83	0,79	0,84	1,04	1,16	1,22	1,11	0,27
Vazão (m³/s)	0,06	0,71	1,03	0,75	0,74	0,62	0,62	0,43	0,65	0,58	0,59	0,55	0,02
8ª Batimetria – 15/01/07 – 14:00													
Rot.	114	133	147	126	143	134	103	70	81	75	82	59	76
Veloc. (m/s)	0,81	0,95	1,05	0,90	1,02	0,96	0,73	0,49	0,57	0,53	0,58	0,41	0,54
Área (m²)	0,51	0,74	0,90	0,96	0,83	0,74	0,72	0,81	1,06	1,19	1,08	1,02	1,10
Vazão (m³/s)	0,41	0,70	0,95	0,86	0,85	0,70	0,53	0,40	0,61	0,63	0,63	0,42	0,59
9ª Batimetria – 24/01/07 – 16:30													
Rot.	118	118	128	88	119	87	45	45	89	84	70	48	4
Veloc. (m/s)	0,84	0,84	0,91	0,62	0,86	0,75	0,51	0,51	0,63	0,59	0,49	0,33	0,05
Área (m²)	0,56	0,88	1,10	1,13	1,04	1,00	0,91	0,92	1,10	1,28	1,25	1,12	0,65
Vazão (m³/s)	0,52	1,03	1,53	1,60	1,45	1,28	1,10	0,93	1,15	1,36	1,11	0,56	0,33
10ª Batimetria – 01/02/07 – 15:00													
Rot.	130	164	193	198	195	179	169	193	147	148	125	71	71
Veloc. (m/s)	0,93	1,18	1,39	1,42	1,40	1,28	1,21	1,02	1,05	1,06	0,89	0,50	0,50
Área (m²)	0,56	0,88	1,10	1,13	1,04	1,00	0,91	0,92	1,10	1,28	1,25	1,12	0,65
Vazão (m³/s)	0,52	1,03	1,53	1,60	1,45	1,28	1,10	0,93	1,15	1,36	1,11	0,56	0,33
11ª Batimetria – 09/02/07 – 16:00													
Rot.	114	177	147	134	195	173	169	193	147	148	125	71	71
Veloc. (m/s)	0,81	1,26	1,05	0,96	1,23	0,73	1,21	1,02	1,05	1,06	0,91	0,41	0,42
Área (m²)	0,56	0,85	1,07	1,05	0,91	0,81	0,69	0,75	0,95	1,14	1,28	1,18	0,32
Vazão (m³/s)	0,46	1,08	1,13	1,01	0,59	0,83	0,76	1,00	1,21	1,36	1,17	0,48	0,14

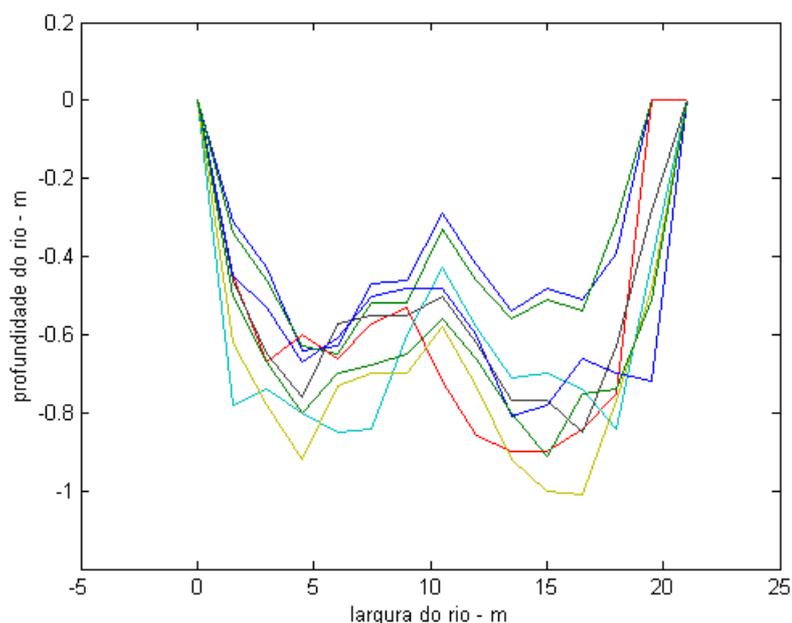


Figura 26 - Gráfico que apresenta: as batimetrias (largura *versus* profundidade).

Na Tabela 6 são apresentados os resultados finais de velocidade média, área da secção e os valores de vazão média diária, obtidos nos diversos períodos de medição em campo.

Tabela 6 - Resultados de velocidade média, área e vazão total

MEDIÇÃO (Datas)	VEL. MÉDIA (m/s)	ÁREA (m ²)	VAZÃO (m ³ /s)
01 - (09/11/06)	0,37	7,94	3,37
02 - (16/11/06)	0,43	8,43	3,81
03 - (20/11/06)	0,78	12,12	9,15
04 - (15/12/06)	0,70	13,00	8,96
05 - (22/12/06)	0,73	11,65	8,27
06 - (27/12/06)	0,90	14,34	15,08
07 - (04/01/07)	0,60	11,93	7,35
08 - (15/01/07)	0,73	11,65	8,27
09 - (24/01/07)	0,60	9,51	5,94
10 - (01/02/07)	1,06	12,91	13,95
11 - (09/02/07)	0,93	11,59	11,00

A metodologia empregada para medir a vazão do rio resultou em valores de vazão consistentes (Tabela 6) e coerentes com os observados na curva-chave de vazão da secção do rio. O tipo de molinete empregado respondeu bem às variações de fluxo da água no perfil da área molhada,

possibilitando que fossem obtidos os valores da vazão correspondente para cada nível de água nos rios.

4.4 CURVA CHAVE VAZÃO-CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS

Os dados de vazão média e os correspondentes valores de descarga sólida em suspensão obtidos nas diversas medições são apresentados na Tabela 7. A partir desses valores construiu-se o gráfico da Figura 27, que mostra os valores observados de descarga líquida e sólida em suspensão juntamente com o ajuste da curva-chave.

Tabela 7 - Valores de concentração e vazão, obtidos pelas leituras em campo e em laboratório

MEDIÇÃO (Datas)	Qss (ton/ano)	Q (Qss(ton/dia)	Q (m³/s)
01-(09/11/06)	306,60	0,84	3,37
02- (16/11/06)	441,65	1,21	3,81
03- (20/11/06)	4394,50	12,04	9,15
04- (15/12/06)	5372,80	14,72	8,96
05- (22/12/06)	4409,20	12,08	8,27
06- (27/12/06)	15844,65	43,41	15,08
07- (04/01/07)	2901,75	7,95	7,35
08- (15/01/07)	3460,20	9,48	8,27
09- (24/01/07)	1299,40	3,56	5,94
10- (01/02/07)	13494,05	36,97	13,94
11- (09/02/07)	10001,00	27,40	11,00

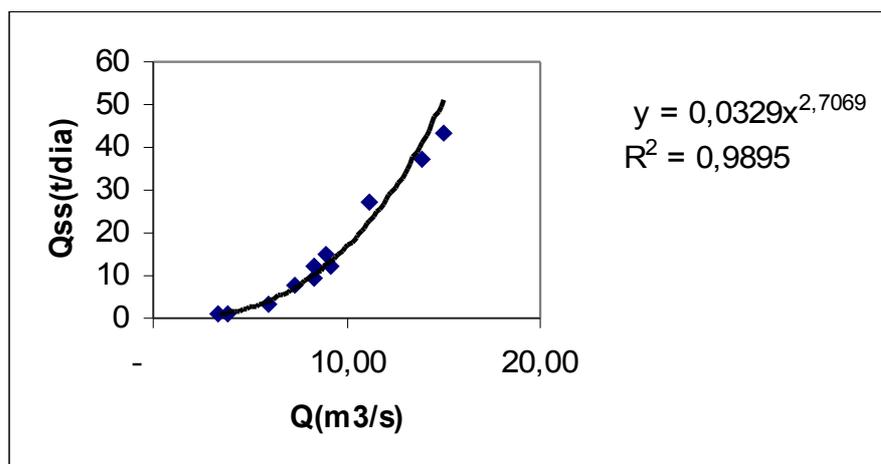


Figura 27 - Curva chave do rio São Francisco Falso.

A obtenção dos dados de descarga sólida, em cada medição, foi realizada em duas etapas. A primeira correspondeu à coleta da amostra no rio, empregando-se o método da integração vertical com o mesmo incremento de largura, adotando-se o número e os pontos de amostragem na secção do rio iguais aos empregados para a medição da velocidade de fluxo, isto é, nas mesmas verticais usadas na hidrometria. Em cada vertical foram realizadas duas repetições para obtenção de um volume em torno de 10 L de água com sedimento. A segunda etapa correspondeu à análise de laboratório, onde a coleta de amostra de cada medição passou por uma redução de amostra. A concentração final foi obtida sempre pelo método de evaporação.

Os dados de vazão e descarga sólida foram obtidos num período (final da primavera e parte do verão) em que o regime de chuvas na região apresenta seus maiores índices, correspondendo ao período mais chuvoso. Nesse período, o solo da bacia é ocupado predominantemente com culturas anuais de milho ou soja. Além disso, o sistema de cultivo dentro da bacia corresponde a 100% de cultivo em nível dentro do sistema de terraceamento. Prática que favorece muito a retenção de um maior volume de chuva que se infiltra no solo, resultando em baixos valores de escoamento superficial.

Os dados de descarga sólida em suspensão, obtidos pelo método de integração vertical (Tabela 7) possibilitaram que fosse obtida a curva-chave de sedimentos (Figura 27), representada por uma função do tipo potencial, semelhante à encontrada por PAIVA et al. (2000), em estudo de curvas-chave de vazões de sedimentos de pequenas bacias hidrográficas, que encontrou um

coeficiente de regressão (R^2) de 0,9569. Nesta pesquisa encontrou-se um coeficiente de regressão (R^2) de 0,9895, o que mostra a alta correlação entre os valores de vazão e de descarga sólida.

Os valores de vazão e os respectivos valores de voltagem observados no turbidímetro são apresentados na Tabela 8. A Figura 29 mostra os dados de voltagem e vazão juntamente com a função ajustada que estabelece a curva-chave da leitura do turbidímetro com a vazão média diária do rio.

Tabela 8 - Valores de voltagem e respectivos dados de vazão

VOLTS_T	VAZÃO (m ³ /s)
0,1320	1,6600
0,1269	2,6552
0,1467	3,5508
0,1212	4,4331
0,1116	5,4670
0,1108	6,4489
0,0972	7,4467
0,0972	8,4825
0,0990	9,7375
0,0627	10,8150
0,1006	11,3100
0,0901	12,4233
0,0733	13,6100
0,0638	14,8300

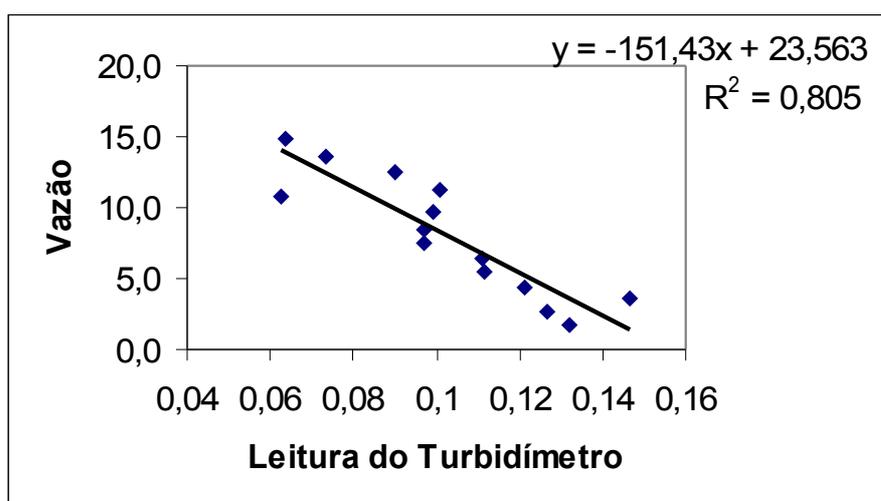


Figura 28 - Curva-chave leitura do turbidímetro – Vazão.

Os dados de vazão e respectivos valores de voltagem observados (Tabela 8) foram obtidos do monitoramento com o linígrafo e o turbidímetro instalados na secção do rio, com registro horário dos dados. Esses valores foram transformados em valores médios diários, cujos resultados de vazão encontram-se na faixa de valores dos dados de vazão obtidos com o molinete no processo de coleta de amostras para quantificação da descarga sólida mostrada na Tabela 6.

Os valores de voltagem e vazão da Tabela 8, exibidos na Figura 28, possibilitam a obtenção da curva-chave do turbidímetro com a vazão que resultou no ajuste de uma função linear, com R^2 de 0,81, mostrando o alto grau de correlação linear entre essas duas variáveis. A correlação inversa entre vazão e leitura do turbidímetro é esperada, pois, para valores elevados de vazão, pressupõe-se maior quantidade de sedimento em suspensão e menor o sinal recebido no sensor do turbidímetro. Essa tendência é comprovada pela curva da Figura 29.

Os valores de carga de sedimento e valores de voltagem observados no turbidímetro são apresentados na Tabela 9. A Figura 30 mostra os dados de voltagem e vazão juntamente com a função ajustada, ao mesmo tempo em que estabelece a curva-chave da leitura do turbidímetro com a carga do turbidímetro.

Tabela 9 - Valores de voltagem e de concentração de sedimento

VOLTS_T	SEDIMENTO
0,1242	0,1297
0,1269	0,4626
0,1467	1,0160
0,1212	1,8525
0,1116	3,2674
0,1108	5,1097
0,0972	7,5425
0,0972	10,7304
0,0990	15,5892
0,0627	20,7111
0,1006	23,3783
0,0901	30,1430
0,0733	38,5866
0,0638	48,6808

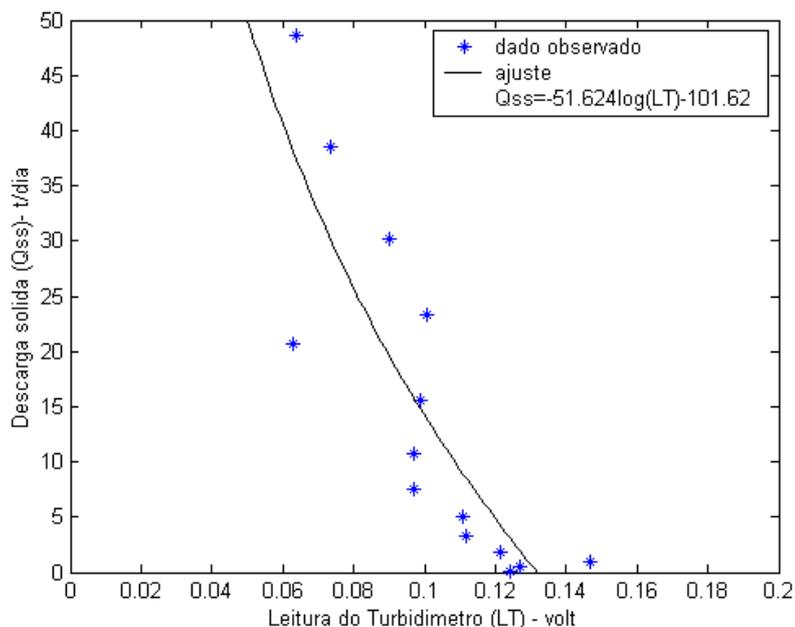


Figura 29 - Curva-Chave leitura do turbidímetro - Descarga sólida.

A Tabela 10 apresenta as curvas-chave com suas respectivas equações e seus valores de R^2 .

Tabela 10 - Equações obtidas por meio das curvas-chave e seus respectivos R^2

CURVA CHAVE	TIPO	EQUAÇÃO	R^2
Concentração x vazão	Potência	$y = 0,0329 \cdot x^{2,7069}$	0,9895
Leitura do turbidímetro x vazão	Linear	$y = -151,43x + 23,563$	0,8050
Leitura do turbidímetro x sedimento	Logarítmica	$y = 51,624 \log(x) - 101,62$	0,7124

Como resultados relevantes deste estudo, apresentam-se na Tabela 10 as curvas-chave fundamentais para o processo de monitoramento de sedimento em suspensão.

Com base na curva-chave de leitura do turbidímetro x sedimento e considerando a série de vazões médias diárias obtidas, durante 250 dias consecutivos, a partir de observações de nível de água, pelo linígrafo e a série dos correspondentes valores de leitura do turbidímetro, ambos instalados na secção de controle, obteve-se a série de descarga sólida em suspensão média diária em $t \cdot dia^{-1}$, exibidas na Figura 30. Considerando-se o período de observação de vazão e leitura de sedimento e os correspondentes valores de

descarga sólida em suspensão, estima-se para a bacia uma vazão média diária de $4,81 \text{ m}^3/\text{s}$ e uma descarga sólida em suspensão de $7,26 \text{ t.dia}^{-1}$.

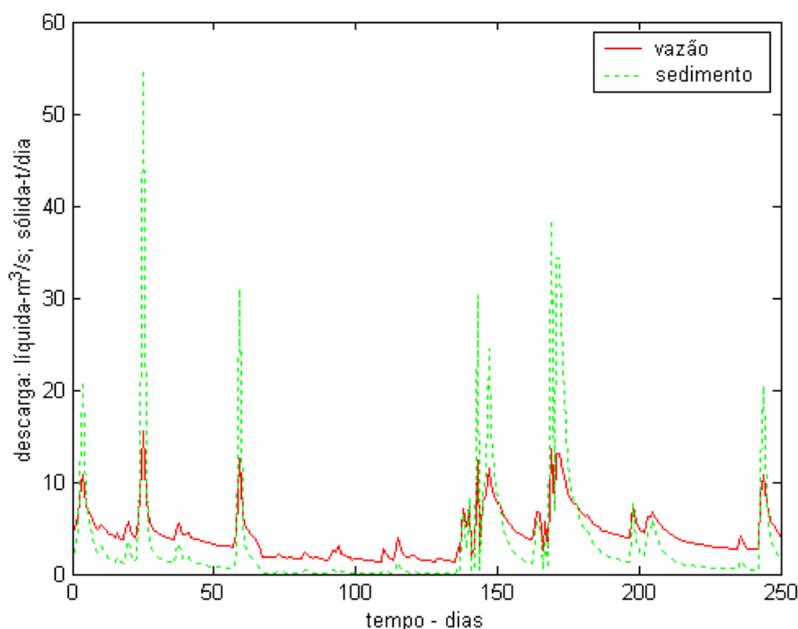


Figura 30 - Série de vazão e descarga sólida.

A batimetria realizada em cada medição mostra que a secção do rio, escolhida para a medição da vazão, não alterou sua forma geométrica, ao longo do período de coleta de dados de vazão e de sedimentos, o que indica, também, que o transporte de materiais de fundo não sofreu variação, perceptível ao longo do tempo, que pudesse alterar a área molhada.

A Figura 30 apresenta a série de vazão observada durante 250 dias consecutivos e a correspondente série de descarga sólida em suspensão, obtida a partir da curva-chave (Tabela 9), mostrando o comportamento do processo hidrossedimentológico ao longo do tempo.

Considerando-se a área da bacia isso significa uma descarga sólida em suspensão específica de $5,0 \text{ t.ano}^{-1} \cdot \text{km}^2$ que, segundo CARVALHO et al. (2000), representa um valor baixo, pois esses autores classificam o valor de concentração específico ($\text{t.Km}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$) como: baixo < 70 , moderado 70 a 175 , alta 175 a 300 e muito alta > 300 .

Comparando-se esse valor com a descarga de rios de porte médio e grande da região, como o rios Iguaçu e Piquiri com descargas da ordem de 43 e $135 \text{ t. ano}^{-1} \cdot \text{km}^2$, respectivamente (LIMA et al.,2004), a bacia em estudo

apresenta prática de manejo e uso do solo que resulta em baixos valores de descarga sólida em suspensão. Embora signifiquem que mais de 2.639 toneladas de sedimentos por ano são lançadas no Lago de Itaipu e são retiradas da bacia do Rio São Francisco Falso, representando uma perda de solo considerável.

5 CONCLUSÕES

A quantificação da descarga sólida em suspensão do Rio São Francisco Falso pelo método de integração vertical, na estação de monitoramento operada por Itaipu, permite concluir que:

- O rio apresenta baixa descarga sólida específica;
- A relação entre a drenagem líquida e sólida se dá através da função

$$y = 0,0329.x^{2,7069};$$

- A relação entre leitura do turbidímetro e a vazão líquida se dá através da função $y = -151,43x + 23,563$;

- A relação entre leitura do turbidímetro e descarga de sedimento em suspensão ocorre via a função $y = 51,624 \log(x) \cdot 101,62$;

- A obtenção da curva-chave de leitura do turbidímetro *versus* descarga sólida constitui instrumento fundamental para o monitoramento ambiental do Rio São Francisco Falso;

- A vazão média diária do rio obtida é 4,81 m³/s e a descarga média diária do rio de sedimentos é de 7,23 t/dia;

- Considerando a área da bacia isto significa uma descarga sólida em suspensão específica de 5,0 t.ano⁻¹.km², representa um valor baixo.

- Mais de 2.639 toneladas de sedimentos por ano são lançadas no Lago de Itaipu e são retiradas da bacia do Rio São Francisco Falso, representando uma perda de solo considerável;

Destaca-se a importância de estender este estudo por períodos de tempo superior a um ano, de forma que possa ser identificada a influência dos períodos sazonais nas curvas-chave obtidas.

REFERÊNCIAS

ASSELMAN, N. E. M. Fitting and interpretation of sediment rating curves. **Journal of Hydrology**, UK, v. 234: p. 228-248, 2000.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Elementos de engenharia de sedimentos. In: TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS; ABRH; EDUSP, 1993. p. 915-943.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. **Evaluation de risques d'érosion et de sédimentation au Brésil a partir de bilans sedimentologiques rudimentaires**. Porto Alegre: Symp, 1988. p.359-369. IAHS publ. n.174.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, ABRH, 2002.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR N. P.; SANTOS P. M. C.; LIMA J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL, 2000.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.

CASCADEL. Prefeitura Municipal de Cascavel. Secretaria de Planejamento – SEPLAN. **Base cartográfica municipal**. 2005.

CHELLA, M. R.; FERNANDES C. V. S.; FERMIANO G. A.; FILL H. D.; Avaliação do transporte de sedimentos no rio Barigüi. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 03, p. 105-111, 2005.

COIADO, E. M. **Transporte de sedimentos** – Trabalho prático. Estudo da descarga sólida transportada em suspensão numa seção do Rio Paraibuna - SP. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1980.

DILL, P. R. J. **Avaliação do assoreamento do reservatório do Vacacai Mirim e sua relação com a deteriorização da bacia hidrográfica contribuinte**. Santa Maria - RS. 2002. 112 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2002.

DNAEE, Departamento nacional de Águas e Energia Elétrica (1977). **Manual para serviços de hidrometria**. Ministério das Minas e Energia. Brasil.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **ArcView GIS v. 3.2**. Redlands – USA: ESRI, 1996.

EVANS, R. A. Rill erosion in contrasting landscapes. **Soil Use and Management**, v. 8, p. 170-175, 1992.

FACINCANI, E. **Influência da estrutura e tectônica no desenvolvimento das boçorocas da região de São Pedro, SP: Proposta de reabilitação e aspectos jurídicos-institucionais correlatos**. Rio Claro – SP. 1995. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP, Rio, UNESP. 1995.

LIMA, J. E. F. W.; LOPES, W. T. A.; SILVA, E. M.; VIEIRA, M. R. Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na bacia do rio Paranapanema. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa - PB, **Anais...** João Pessoa - PB: ABRH, Nov. 2005. p. 174-180.

LIMA, J. E. F. W.; LOPES, W. T. A.; SILVA, E. M.; VIEIRA, M. R. Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na bacia do rio Piquiri. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 6., 2004, Vitória – ES. **Anais...** Vitória – ES: ABRH, dez. 2004. p. 301-305.

LIMA, J. E. F. W.; SANTOS, P. M. C.; CHAVES, A. G. M.; SCILEWSKI, L. R. **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco**. Planaltina - DF: Embrapa Cerrados; Brasília - DF: ANEEL; ANA, 2001. 108 p.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Relações da hidrossedimentologia com os setores agrícola e elétrico In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 5., 2002, São Paulo – SP. **Anais...** São Paulo – SP: ABRH, nov. 2002. p. 63-69.

PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D.; PARANHOS M. M. R.; EMMER R. Evolução de processo erosivo acelerado em trecho do arroio Vacacaí – Mirim. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre - RS, v. 06, n. 02, p. 129-135, 2001. 2000.

PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D.; REINERT, D. J.; DOTTO, C. R. D.; SANTOS, M. F.; STEFFLER, F. A.; ÁVILA, F. R.; Estimativa do assoreamento do reservatório do DNOS, em Santa Maria, RS. In: CONGRESO NACIONAL DEL AGUA, 17; SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DEL CONO SUR, 2; 1998; Santa Fé, Argentina. **Anais...** Santa Fé, Argentina: BRH Digital, 1998. v. 3; p. 452; 461.

PARANÁ. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento, 1989.

PORTO, R. L.; ZAHED, K. F.; SILVA R. M.; **Bacias hidrográficas** São Paulo: Escola Politécnica da USP – Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária PHB – 307 – Hidrologia Aplicada, 1999.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: CEHPAR, 2001.

SCHROEDER, M. **Cobertura florestal do Rio Grande do Sul**. In: SEMINÁRIO SOBRE A SITUAÇÃO FLORESTAL DO RIO GRANDE DO SUL, 1., 1996, Porto Alegre - RS. **Anais...** Porto Alegre - RS: Secretaria da Agricultura e Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul, 1996. p. p. 124-132.

SIMÕES, S. J. C. Processos erosivos lineares em diferentes ambientes físicos. SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROÇÃO, 6., 1998, Presidente Prudente – SP. **Anais...** Presidente Prudente – SP: ABRH, março-abril/1998. 1 CD-ROM.

SIMÕES, S. J. C.; COIADO, E. M. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003. p. 283-292

SIMONS, D. G.; SENTURK, F. **Sediment Transport Technology**. Fort Collins – Colorado: W. R. Publication, 1976. 805 p.

TOY, T. J. Accelerated erosion: process, problems, and prognosis. **Geology**, EUA, v. 10, p. 524-529, 1982.

TUCCI, C. E. M. W. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre – RS: Editora UFRGS; ABRH, nov. 2002.

WALLING, D. E. Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin. **Water Resources Research**, EUA, v. 13, p. 531–538, 1977.

WALZSON, T. A. L.; LIMA J. E. F. W.; VIEIRA M. R.; DIAS F. S. **Análise do Fluxo de Sedimentos em Suspensão na Bacia do Rio Iguaçu** in anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa – PB. Nov.2005.

APÊNDICE

APÊNDICE A - ANÁLISE EM LABORATÓRIO

Como prescreve CARVALHO et al. (2000), após cada coleta de amostras, essas deverão ser analisadas em laboratório de sedimentologia, conforme os passos prescritos:

a) Recepção das amostras de concentração e suspensão

- Conferir e registrar as amostras no caderno de recepção de amostras sedimentométricas;
- limpar com pano úmido externamente o frasco;
- pesar e anotar o peso de cada frasco com tampa;
- adicionar na amostra a diferença de solução sulfato de cobre, na proporção 1 ml/litro, no volume excedente a 10 litros de amostra, visto que o frasco enviado para o campo já é previamente preparado com 10 ml da solução;
- agitar o frasco e colocá-lo em local ao alcance do redutor de amostras ou pescador;
- cobrir os frascos para mantê-los ao abrigo da luz, aguardar um período mínimo de 96 horas para a decantação dos sedimentos;
- proceder à redução das amostras e ensaios conforme especificação ou método de escolha.

b) Redução das amostras

- pipetar duas porções de 50 ml da parte superior da amostra ainda no frasco, para a determinação dos sólidos dissolvidos;
- coletar aproximadamente 4000 ml da parte superior da amostra ainda no frasco para uso como água do rio;
- reduzir o máximo possível a amostra já decantada com uso do pescador;
- pipetar duas porções de 50 ml da parte superior da amostra ainda no frasco, para a determinação dos sólidos dissolvidos;

- coletar aproximadamente 4000 ml da parte superior da amostra ainda no frasco para uso como água do rio;
- reduzir o máximo possível a amostra já decantada com uso do pescador;
- transportar a água remanescente no frasco para um béquer de 1000 ml, lavando o frasco com jatos de água do próprio rio e proceder à segunda decantação da amostra depositada no béquer;
- proceder ao preparo de frascos;

c) Ensaios

c1) Ensaio de filtração (concentração)

Realizado em amostras com concentrações abaixo de 200 mg/litro.

- tarar um cadinho previamente preparado;
- proceder à segunda redução da amostra depositada no béquer de 1000 ml;
- fixar o cadinho previamente preparado no gabinete de filtração;
- transferir a amostra reduzida para uma proveta de 100 ml e determinar o volume da amostra;
- filtrar a amostra utilizando a sucção a vácuo com pressão de 10 a 20 pol./Hg
- lavar o béquer de 1000 ml e a proveta no cadinho utilizando jatos de água destilada;
- secar o cadinho com sedimento em estufa;
- resfriar o cadinho no dessecador;
- determinar o peso final do cadinho.

c2) Ensaio de evaporação (concentração)

Realizado em amostras com concentrações acima de 200mg/litro

- tarar um béquer de 250 ml previamente preparado;
- proceder à segunda redução da amostra depositada no béquer de 1000 ml;

- transferir a amostra reduzida para uma proveta de 100 ml e determinar o volume da amostra;
- transferir a amostra da proveta para o béquer de 250 ml, lavar o béquer de 1000 ml e a proveta no béquer de 250 ml com água destilada;
- colocar na estufa para secagem;
- determinar o peso seco.

c3) Preparo de cadinho

- deixar o cadinho submerso por 24 horas em água pura;
- lavar com bucha e pouco detergente;
- enxaguar em água corrente e abundante;
- secar em estufa convencional por 2 horas;
- deixar o cadinho submerso por 24 horas em água pura;
- lavar com bucha e pouco detergente;
- deixar o cadinho submerso por 24 horas em água pura; lavar com bucha e pouco detergente;
- enxaguar em água corrente e abundante;
- secar em estufa convencional por 2 horas;
- retirar da estufa e aguardar o seu resfriamento;
- inserir um filtro de microfibra de vidro no cadinho;
- fixar o cadinho no gabinete de filtração;
- filtrar \pm 50 ml de água destilada no cadinho, para melhor fixação do
- deixar o cadinho submerso por 24 horas em água pura;
- lavar com bucha e pouco detergente;
- enxaguar em água corrente e abundante;
- secar em estufa convencional por 2 horas;
- retirar da estufa e aguardar o seu resfriamento;
- inserir um filtro de microfibra de vidro no cadinho;
- fixar o cadinho no gabinete de filtração;
- filtrar \pm 50 ml de água destilada no cadinho, para melhor fixação do
- deixar o cadinho submerso por 24 horas em água pura;

- lavar com bucha e pouco detergente;
- enxaguar em água corrente e abundante;
- secar em estufa convencional por 2 horas;
- retirar da estufa e aguardar o seu resfriamento;
- inserir um filtro de microfibras de vidro no cadinho;
- fixar o cadinho no gabinete de filtração;
- filtrar \pm 50 ml de água destilada no cadinho, para melhor fixação do filtro;
- secar o cadinho com o filtro, em estufa.
- resfriar o cadinho no dessecador e manter no dessecador;

c4) Procedimentos em laboratório

- secagens e resfriamentos - todas as secagens de amostras e utensílios utilizados nos ensaios de sedimentometria, deverão ser feitas em estufas convencionais, com temperatura controlada para 105 °C, tempo mínimo de secagem de 16 horas ou até a constância de peso, resfriamento em dessecadores por 6 horas e manutenção dos equipamentos resfriados nos dessecadores para evitar absorção de umidade;
- decantações - todas as decantações deverão permanecer em repouso por um período mínimo de 96 horas, conforme CARVALHO (2000).