



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**FABIANA GIACOMIN RAMPINELLI**

**CORRELAÇÃO DE SEDIMENTOS E EVENTOS CHUVOSOS EM UM TRECHO DO  
RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA, ES**

**VITÓRIA, ES**  
**2013**

FABIANA GIACOMIN RAMPINELLI

**CORRELAÇÃO DE SEDIMENTOS E EVENTOS CHUVOSOS EM UM TRECHO DO  
RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA, ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração em Recursos Hídricos.

Prof. Orientador: Dr. Daniel Rigo

**VITÓRIA, ES  
2013**

FABIANA GIACOMIN RAMPINELLI

**CORRELAÇÃO DE SEDIMENTOS EM EVENTOS CHUVOSOS EM UM TRECHO  
DO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA, ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração em Recursos Hídricos.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Daniel Rigo  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador

---

Prof. Ph.D. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador interno

---

Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad  
Universidade de São Paulo  
Examinador externo

*Aos meus pais,  
Irmãos e Leonardo.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Daniel Rigo, pela oportunidade de realizar este trabalho, orientação, conversas e compreensão durante todo o curso.

Aos professores examinadores Dr. Frederico Fábio Mauad e Dr. Antônio Sergio Ferreira Mendonça por aceitarem participar da banca examinadora deste trabalho.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo pelos conhecimentos transmitidos.

À FAPES pelo financiamento da bolsa de mestrado.

Aos amigos do GEARH, Ramon, Thiago, Caio, Winicius, Odair e Thaiza pela ajuda nos pedidos de socorro, paciência e as muitas conversas na hora do café;

Ao Leandro Stanzani pela disposição em ensinar, auxílio nos campos e por estar sempre estar disposto a ajudar;

À Mônica pelas sugestões, ajuda com os resultados e conversas sobre o trabalho.

Ao Antônio Carlos pela ajuda no processamento dos dados, pelos ensinamentos, paciência na realização as análises;

Ao amigo Wilson Pimenta pelas conversas e apoio durante todo o curso e durante as campanhas;

Aos colegas Felipe Tesch, Emília Brito pela grande ajuda nos campos e todas conversas;

Ao amigo Izak pela paciência com os pedidos de socorro com os mapas e coordenadas;

Ao Lilico, pelas muitas horas de trabalho e no auxílio em todo o trabalho prático;

Aos meus pais, pelo incentivo, amor e pelas oportunidades que me proporcionaram;

Ao Leonardo pelo companheirismo, amor e paciência em todos os momentos;

Aos amigos e em especial à minha família, que compreenderam com carinho os momentos de estresse e as ausências.

Muito obrigada a todos!

## RESUMO

A bacia do Rio Santa Maria da Vitória - ES apresenta produção de sedimentos resultante da interação de diversos processos hidrogeológicos sendo uma das mais importantes para o estado do Espírito Santo. Com o objetivo principal de verificar a existência de correlação entre o transporte de sedimentos em suspensão e a ocorrência de chuvas, foram realizadas campanhas em três seções entre os reservatórios de Rio Bonito e Suíça. Os sedimentos quando correlacionados à vazão em dias de chuvas apresentaram valores altos. Os resultados demonstram também que as correlações encontradas entre a média das chuvas incidentes na bacia e a concentração de sedimentos foram baixas, indicando que a grande extensão da bacia contribuiu para a distribuição destes valores. Ao analisar as distribuições dos grãos foi verificado que os tamanhos médios foram predominantes nas amostras de fundo, e para as em suspensão houve predominância de grãos finos. Os valores de descarga total de sedimentos encontrados pela utilização do método de Einsten modificado por Colby foram superestimados. Entretanto a seção localizada a montante da PCH Suíça apresentou as menores estimativas de descargas sólidas estando correlacionados à existência da represa da PCH Rio Bonito, onde ocorre deposição de sedimentos do curso d'água.

Palavras chave: Chuva, Sedimentos Suspensos, Rio Santa Maria da Vitória.

## ABSTRACT

The Santa Maria da Vitória River basin presents sediment production resultant from the interaction of many hydro-geological processes. This basin it is one of the most important basins for the Espírito Santo state because it supplies water for most of the its metropolitan region provision. The main objective of the dissertation is verify the existence of a correlation between suspended sediments transport and rains, campaigns in three different sections were realized between Rio Bonito and Suiça's reservoirs. The campaigns showed that low quantity of sediments remains in the deep of the reservoir and it has a bigger grain size. The results also proved that there is no correlation between the mean of rains in the basin and the sediments concentration, indicating that the great size of the basin contributes for the distribution of the values. The sediments, when related with stream flow in rainy days, presents high values and daily basis sediments collections and stream flow analysis demonstrated that rains may not be noticed immediately in the section. When the grain distribution is analyzed, they presented medium sizes, predominantly, in the deep samples and fine size, predominantly, in the suspended ones. The total discharge values of sediment were overestimated by using the Einstein method, modified by Colby. However, it can be noticed low solids discharges in the section located upstream hidroeletric Suíça, which can be related to the existence of the Rio Bonito dam that should occur sediments deposition from the water course.

Keywords: Rain, Suspended Sedments, Santa Maria da Vitória river.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Mapa de localização das seções de monitoramento. ....	26
Figura 02: ADCP em uso durante campanha do dia 13/04/2013.....	27
Figura 03: Amostrador tipo Rock-Island .....	28
Figura 04: Localização e delimitação dos municípios ocupados pela Bacia do rio Santa Maria da Vitória no estado do Espírito Santo.....	30
Figura 05: Localização da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória no mapa do Brasil e em sequência a seção à Jusante da cidade de Sta. Leopoldina. ....	31
Figura 06: Vista geral da cidade de Santa Leopoldina e do Rio Santa Maria da Vitória. ....	32
Figura 07: Detalhe da região de localização dos dois barramentos de Rio Bonito e Suiça e em sequência a seção à jusante da cidade de Santa Leopoldina.....	33
Figura 08: Vista geral da campanha realizada no dia 26/06/2012 durante a tomada de dados de sólidos suspensos em uma das verticais. ....	34
Figura 09: Utilização do amostrador USDH 59 para coleta de sedimentos em suspensão na campanha de 04/01/2013. ....	35
Figura 10: Descrição do formato da Seção em estudo. Em A vista geral da margem direita da seção e em B vista geral da margem esquerda. ....	36
Figura 11: Curva chave para a seção em estudo. Pontos obtidos por coletas referentes a outras campanhas realizadas na mesma seção ao longo dos últimos anos .....	37
Figura 12: Mapa de ocalização dos pluviômetros na bacia. Ao lado esquerdo detalhe do pluviômetro instalado na seção à jusante da cidade de Santa Leopoldina. ....	38
Figura 13: Utilização do amostrado tipo draga para coleta de sedimentos de fundo na campanha de 04/01/2013.....	39
Figura 14: Detalhe da abertura da draga durante coleta de sedimentos de fundo na campanha do dia 04/01/2013.....	40
Figura 15: Amostrador Helley Smith. ....	42
Figura 16: Utilização do amostrador Helley Smith durante a campanha do dia 26/06/2012.....	42
Figura 17: Posicionamento do DGPS e flutuador do ADCP em uma das campanhas realizadas.....	43



Figura 18: Mapa das principais sub-bacias contribuintes e seus rios/córrego com a localização das três seções monitoradas.....	45
Figura 19: Correlação entre concentração de sedimentos suspensos transportados x vazão registradas em cada campanha para a Seção a jusante da cidade de Santa Leopoldina. ....	48
Figura 20: Gráfico com valores de chuvas diárias, nível d'água, concentração de sólidos suspensos totais e vazão para a seção em estudo durante o período de jan/13 à mar/13. ....	50
Figura 21: Correlação carga total (T/dia) de sedimentos transportados e a vazão (m <sup>3</sup> /s) em dias de chuva para a seção em estudo. Durante todo o período de monitoramento com chuvas superiores à 2 mm; Com chuvas de valores superiores a 10mm; Com chuvas superiores a 20mm.....	51
Figura 22: Bacia do Rio Santa Maria da Vitória com a divisão de áreas entre as barragens e a seção em estudo. <b>1.</b> Área de drenagem ente os limites superiores da bacia e a barragem de Rio Bonito = 617 km <sup>2</sup> ; <b>2.</b> Área de drenagem entre a barragem de Rio Bonito e Suíça = 277 km <sup>2</sup> ; <b>3.</b> Área de drenagem entre a barragem de Suíça e a seção a jusante da cidade de Santa Leopoldina = 125 km <sup>2</sup> ; <b>4.</b> Área de drenagem após a seção a jusante da cidade de Santa Leopoldina = 895km <sup>2</sup> . ....	53
Figura 23: Correlação entre a quantidade de sedimento suspenso que passa pela seção em estudo e a média, dos três pluviômetros, da altura total acumulada de chuva no dia. ....	55
Figura 24: Gráfico de histerese do evento do dia 17/01 com total de chuva de 50,8 mm; gráfico de concentração de sedimentos suspensos x vazão x tempo para o evento.....	57
Figura 25: Gráfico de histerese do evento do dia 19/01 com total de chuva de 65 mm; gráfico de concentração de sedimentos suspensos x vazão x tempo para o evento.....	58
Figura 26: Gráfico de histerese do evento do dia 27/01 com total de chuva de 16,7 mm; gráfico de concentração de sedimentos suspensos x vazão x tempo para o evento.....	59
Figura 27: Gráfico de histerese do evento do dia 01/03 com total de chuva de 35,9 mm; gráfico de concentração de sedimentos suspensos x vazão x tempo para o evento.....	61
Figura 28: Gráfico de histerese do evento do dia 29/03 com total de chuva de 29,4 mm; gráfico de concentração de sedimentos suspensos x vazão x tempo para o evento.....	62
Figura 29: Gráfico de histerese do evento do dia 19/03 com total de chuva de 28,9 mm; gráfico de concentração de sedimentos suspensos x vazão x tempo para o evento.....	63

Figura 30: Esquema como perfil da seção em estudo para as campanhas na seção a jusante da cidade de Santa Leopoldina..... 69

Figura 31: A) Vista a montante da seção; B) Vista da margem direita da seção; C) Vista geral da seção em estudo. (Fotos obtidas na campanha do dia 12/10/2012). . 76

Figura 32: Barco com DGPS e flutuador do ADPC acoplados para a realização da tomada de dados de velocidade das partículas de fundo na campanha de 04/01/2013..... 76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Descrição das datas de realização das campanhas para a seção à Jusante da cidade de Santa Leopoldina. ....	25
Tabela 02: Descrição das datas de realização das campanhas para as seções à Jusante da UHE Suíça e à Montante da UHE Suíça.....	26
Tabela 03: Valores de Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e Turbidez (T), medidos em dois pontos, antes, durante e após a abertura do dispositivo de fundo da UHE Suíça. ....	44
Tabela 04: Demonstrativo das chuvas ocorridas nos dois dias que antecederam as campanhas, no dia anterior à campanha e no dia da campanha nas estações de Rio Bonito Montante, Rio Bonito Jusante e Suíça (Referente a seção à Jusante da cidade de Santa Leopoldina).....	46
Tabela 05: Demonstrativo das chuvas ocorridas nos dois dias que antecederam as campanhas, no dia anterior à campanha e no dia da campanha nas estações de Rio Bonito Montante (RBM), Rio Bonito Jusante (RBJ) e Suíça (S). (Referente as seções Montante e à Jusante da UHE Suíça).....	47
Tabela 06. Descrição da granulometria dos sedimentos de fundo predominantes em cada campanha. A porcentagem total da amostra se refere aos grãos de diâmetro superior à areia média. ....	65
Tabela 07: Demonstrativo das velocidades médias durante as campanhas, % de sedimentos, chuvas ocorridas no dia anterior a campanha e no dia da campanha e total de chuva no mês. *Referente ao somatório das porcentagens de grãos de granulometria superior a areia média, em relação ao total da amostra coletada em campo.....	65
Tabela 08: Detalhamento da granulometria das partículas de fundo para cada um dos três pontos amostrados na seção em cada uma das campanhas. * O último ponto não foi coletado neta ocasião devido a problemas operacionais durante a campanha.....	67
Tabela 09: Descrição da granulometria dos sedimentos de fundo predominantes em cada campanha. Referente à Seção de monitoramento Jusante e Montante UHE...	70
Tabela 10: Descrição da granulometria dos sedimentos em suspensão predominantes em cada campanha.....	71
Tabela 11: Resumo dos resultados das medições de descarga líquida por uso do ADCP na seção em cada uma das campanhas no Rio Santa Maria da Vitória. ....	72
Tabela 12: Descrição dos valores encontrados nas campanhas para descarga sólida em suspensão, descarga sólida de leito e descarga sólida total estimada pelo método de Einstein Modificado. ....	73

Tabela 13: Resumo de descargas sólidas, medidas em três pontos, antes, durante e após abertura do dispositivo de fundo da UHE Suíça.....	74
--	----

## LISTA DE SÍMBOLOS

PCH'S - Pequenas Centrais Hidrelétricas

UHE – Usina Hidroelétrica

UTM - Universal Transversa de Mercator

ADCP – *Acoustic Doppler Current Profile*

Q<sub>ss</sub> - descarga sólida em suspensão (t/d)

Q - descarga líquida (m<sup>3</sup>/s)

C<sub>ss</sub> - concentração de sedimentos suspensos

P - peso seco do sedimento

V - volume da mistura água-sedimento

E<sub>am</sub> - eficiência hidráulica do equipamento

P<sub>s</sub> - peso seco da amostra no ponto, [kg]

(d<sub>i+l</sub> - d<sub>i-l</sub>) - distância entre a metade da largura vertical antecedente ao ponto

L<sub>a</sub> - largura da boca do amostrador [m]

T - tempo de amostragem [s]

V<sub>B</sub> - Velocidade média das partículas de sedimentos no leito do rio, [m/s]

V DGPS - Velocidade do barco medida pelo DGPS, [m/s]

V<sub>BT</sub> - Velocidade aparente do instrumento dada pelo recurso *bottom track*, [m/s]

RBM – Rio Bonito Montante

RBJ – Rio Bonito Jusante

S - Suíça

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
3.1. Erosão e transporte de sedimentos .....	17
3.2. Correlação entre chuvas e transporte de sedimento.....	21
3.3. Análise da disponibilidade de sedimentos por de curvas de histerese ....	22
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
4.1. Descrição da região em estudo.....	29
4.2. Medição da descarga sólida em suspensão .....	34
4.3. Análise diária dos sedimentos e correlação com eventos de chuva .....	35
4.4. Análise e coleta de dados durante eventos chuvosos para elaboração das curva de histerese .....	39
4.5. Medição de sólidos de leito .....	39
4.6. Cálculo da descarga sólida total .....	40
4.7. Medição de velocidades e vazão por ADCP .....	43
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
5.1. Correlação chuva x sedimento.....	44
5.1.1. Dados obtidos das campanhas de monitoramento.....	44
5.1.2. Dados obtidos das coletas diárias de sedimentos.....	49
5.2. Análise da disponibilidade de sedimentos por de curvas de histerese ....	56
5.3. Análise da granulometria.....	64
5.3.1. Material de fundo.....	64
5.3.2. Material em suspensão.....	70
<b>6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES A FUTUROS TRABALHOS .....</b>	<b>78</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>80</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os processos de erosão e sedimentação são fenômenos naturais do ciclo hidrogeológico da Terra. Contudo, têm sido modificados e acelerados devido ao rápido desenvolvimento das atividades humanas.

Já os conhecimentos sobre o comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica, por sua vez, são geralmente escassos, porém fundamentais no planejamento, projeto e operação de obras hidráulicas; além de seu caráter essencial na gestão dos recursos hídricos o conhecimento sobre a bacia auxilia também no suporte à tomada de decisões (LIMA et al.,2010; CARVALHO, et. al., 2000; LIMA & LOPES, 2011; PRUSKI, et. al., 2004).

Sabe-se ainda que é durante o período chuvoso que ocorre considerável transporte de sedimentos, durante enxurradas combinadas a enchentes, sendo que o monitoramento destes eventos é essencial para uma correta avaliação do correspondente transporte.

A bacia do Rio Santa Maria da Vitória apresenta uma produção de sedimentos resultante da interação de diversos processos hidrogeológicos. Com aproximadamente 1.916 km<sup>2</sup>, esta bacia é uma das mais importantes para o estado do Espírito Santo considerando seu uso para abastecimento da Região Metropolitana da Grande Vitória, além de irrigação e uso industrial. Soma-se a estes usos a influência da descarga fluvial sobre o sistema estuarino da Baía de Vitória sendo que a bacia conta ainda com uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH - Rio Bonito) e uma Usina Hidroelétrica (UHE – Suiça), que implicam na mudança nas condições naturais do curso água.

Neste trabalho, a hipótese que se levanta é que os sedimentos transportados até uma seção localizada à jusante da cidade de Santa Leopoldina podem ser, em sua maioria, provenientes de uma região compreendida entre os reservatórios devido a influência da dinâmica do uso e ocupação do solo. Desta forma buscou-se conhecer melhor as características hidrossedimentológicas do trecho em estudo, sua granulometria e correlações com as chuvas incidentes no período amostrado.

## **2. OBJETIVOS**

### *Objetivo geral:*

Verificar a existência de uma correlação entre o transporte de sedimentos em suspensão e a ocorrência de chuvas avaliando a disponibilidade desses sedimentos e sua distribuição granulométrica.

### *Objetivos específicos:*

1. Avaliar dados diários de sedimentos suspensos em seções à montante e à jusante do Reservatório de Suíça e quantificar a retenção ou acréscimo de sedimentos a jusante do mesmo;
2. Avaliar a existência de uma correlação entre a altura de chuva e o transporte de sedimentos em uma seção específica do rio Santa Maria da Vitória;
3. Analisar a disponibilidade de sedimentos em um trecho da bacia através de curvas de histerese;
4. Analisar a distribuição granulométrica dos sedimentos de fundo e suspensão ao longo das campanhas buscando correlacioná-los a incidência de chuvas e as velocidades dos fluxos;



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Erosão e transporte de sedimentos

Os processos erosivos geradores da produção de sedimentos compõe uma constante linha de pesquisa desde a década de 70, quando estudos em parcelas experimentais surgiram para incentivar o uso de práticas conservacionistas do solo e da água, permanecendo até os dias atuais. Recentemente os trabalhos de erosão ganharam mais empenho nos estudos em bacias hidrográficas, sendo que grandes avanços vem sendo realizados para descobrir as fontes de produção de sedimentos. Entretanto o conhecimento sobre a transferência dos sedimentos da bacia vertente até o canal fluvial necessita de investigações constantes, visto que o desequilíbrio dos processos sedimentares em um rio pode ocasionar o aumento da ocorrência de enchentes, reduzir a vida útil de reservatórios, prejudicar a prática da navegação e elevar os custos de tratamento da água (SCAPIN *et al.*, 2008; CARVALHO *et al.*, 2000; CARVALHO, 2008; WALLING & FANG, 2003; VESTENA, 2008; MINELLA & MERTEN, 2011).

O sedimento pode ser definido como uma partícula ou material fragmentado de rocha, ou de materiais biológicos que podem ser transportado por suspensão, ou depositado pela água, pelo ar, ou acumulado nos leitos por outros agentes naturais, que incluem precipitados químicos, biológicos e materiais orgânicos decompostos (CARVALHO, 2008; EDWARDS & GLYSSON, 1999).

Os sedimentos que chegam aos rios têm granulometria e transporte variado conforme as condições locais e de escoamento. Esta variação é função do tamanho, peso e forma da partícula. De acordo com Carvalho (1994) os grãos podem permanecer em suspensão ou no fundo do rio, saltando do leito para o escoamento, deslizando ou rolando ao longo do leito. As formas de transporte podem ser definidas como:

- Carga sólida de arrasto: partículas que rolam ou escorregam longitudinalmente no curso d'água;
- Carga sólida saltante: partículas que pulam ao longo do curso d'água por efeito da correnteza ou devido ao impacto de outras partículas;

- Carga sólida em suspensão: partículas que estão suportadas pelas componentes verticais da velocidade, enquanto são transportadas pelas componentes horizontais destas velocidades.

A distribuição vertical de tamanhos de partículas de sedimentos pode variar entre diferentes cursos d'água, e o comportamento dinâmico do grão, isto é, sua velocidade, trajetória e modo de deslocamento, é uma resposta direta às forças nele atuante. No entanto, como regra geral, as partículas mais finas são uniformemente distribuídas ao longo da vertical, e as partículas mais grosseiras se concentram perto do leito; o transporte em suspensão é uma função predominante da velocidade do fluxo e o transporte do leito é muito influenciado pelo atrito que atua no seu deslocamento (LEOPOLD *et al.*, 1964 *apud* EDWARDS & GLYSSON, 1999; CARVALHO, 2008).

São duas as forças principais que atuam sobre a dinâmica fluvial e o transporte de sedimentos: a força da gravidade e a tensão de cisalhamento. A força da gravidade é a força vertical exercida pela massa líquida sobre o canal, e direciona o fluxo das áreas com maior declividade para as partes mais baixas. A tensão de cisalhamento por unidade de área é a força de atrito existente entre o líquido em movimento e o canal, implicando em uma resistência ao escoamento e ao transporte de sedimentos. Esta força é decisiva para iniciar o movimento de partículas pequenas, enquanto para o carregamento das partículas maiores além do atrito, a velocidade do fluxo é também imprescindível. Quando as forças hidrodinâmicas atingem valores superiores aos das forças de resistência, provenientes do contato da partícula com o leito e do próprio peso da partícula, ocorre o deslocamento do grão de sedimento (SUGUIO; BIGARELLA, 1990; CARVALHO, 2008).

Na carga sólida do leito o material grosso, como areias e pedregulhos, pode acumular em reservatórios, em área de remanso, formando o delta que geralmente tem grande volume acima do volume morto, diminuindo a regularização e a capacidade reservada para geração de energia (CHRISTOFOLETTI, 1981; CARVALHO *et al.*, 2002; XU & CHENG, 2002).

Em geral, a descarga sólida de fundo representa apenas uma pequena parcela do total, mas a sua variação pode ser significativa, e segundo alguns autores, a descarga instantânea do leito pode variar entre 2 a 150% da descarga em

suspensão. Esta por sua vez pode representar 95% do total transportado. Por esta razão e pela facilidade de determinação, a maior parte dos eventos individuais somente contempla o sedimento em suspensão. Já em situações extremas, como a que pode acontecer durante uma enchente em um rio, a descarga de fundo pode representar até 70% da descarga total de sedimentos. Essa grande variabilidade justifica medições regulares dessa descarga do leito e não somente da descarga em suspensão (SIMONS; SENTURK, 1992; CARVALHO *et al.*, 2000; STRASSER, 2008).

Já a concentração de material em suspensão de um rio é controlada por diversos fatores naturais da bacia hidrográfica, dentre os quais se destacam: a geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal natural, uso do solo e fatores climáticos. É estudada de várias maneiras de acordo com os objetivos almejados, e sua análise quantitativa geralmente está ligada a interesses voltados ao assoreamento de reservatórios e tratamento de água para consumo. Análises da distribuição temporal e espacial da carga suspensa geralmente interessam as pesquisas de gerenciamento da bacia e determinação do impacto de sua ocupação. Assim, as características de cada estudo exigem metodologias variadas, que utilizam equipamentos e calendários também bastante variados (LELI, 2010; SOUZA & KNOPPERS, 2003; BRANCO, 2008).

Entretanto, estudos hidrossedimentológicos associados à realização de monitoramentos sedimentométricos geralmente se processam com lentidão, devido às coletas regulares de dados, trabalhos de laboratório e estimativas de parâmetros, que são onerosos do ponto de vista de tempo e recursos. Além de exigir muito esforço, existe também a necessidade de avaliar possibilidades que tornem esse monitoramento mais simples, o que poderia ser feito reduzindo o número de amostras a serem coletadas sem redução significativa da precisão do estudo. Além disso, outras variáveis como tamanho, forma, ocupação da bacia são consideradas na determinação da metodologia a ser empregada nestes estudos (BICALHO, 2006; VESTENA, 2008; ESTIGONI, *et al.* 2011; SOUZA & KNOPPERS, 2003; BRANCO, 1998).

De acordo com Paiva *et al.*, (2001) a erosão por sua vez é um fenômeno complexo, que tem sido objeto de interesse de várias áreas das ciências ambientais. Desta

forma, uma estimativa do volume de sedimento transportado por um rio faz-se necessária para a gestão dos recursos hídricos.

Um maior conhecimento do funcionamento das variações das cargas de sedimento é necessário para avaliação das tendências globais da transferência de sedimentos evitando efeitos negativos decorrentes da produção, transporte e deposição, maximizando o uso dos recursos hídricos (WALLING & FANG, 2003; LANZA, 2011).

De acordo com Teodoro et al., (2007) a bacia hidrográfica pode ser considerada como a unidade em que a descrição do ciclo hidrológico pode ser integrada, sendo que os efeitos das mudanças no uso do solo passam a ser mais reais e tornam as avaliações dos impactos mais eficientes. Na questão terminológica, as sub-bacias de forma geral são consideradas áreas de drenagem dos tributários do curso de água principal, e as microbacias são áreas formadoras das sub-bacias. Muitos autores acham subjetivo o termo microbacia e englobam-na no conceito de sub-bacia, contudo, outros definem esses conceitos diferentemente.

No entanto, é importante não considerar apenas o tamanho da área das bacias hidrográficas, e sim a dinâmica e magnitude em que os processos hidrossedimentológicos ocorrem. Esses conceitos de sub-bacia e microbacia vêm ao encontro de pontualizar os problemas que se encontram difusos para tornar mais fácil o estudo da descoberta das fontes de degradação e poluição, bem como para buscar estratégias eficazes para a sustentabilidade do sistema produtivo desenvolvidos nas bacias (MINELLA, 2004).

Diferentemente de grandes bacias (>100 km<sup>2</sup>), bacias pequenas geram respostas rápidas, e intensas na vazão e concentração de sedimentos a partir de um evento pluviométrico em função dos fatores e interações que ocorrem nas encostas. Foi o encontrado por Girardi et al., (2011) que obteve três curvas de permanência de vazão em escalas de bacias hidrográficas. Isto revela que esse comportamento junto com outros dados obtidos são reflexos diretos das escalas, visto que quanto menor a bacia menor a capacidade de amortecimento da onda de cheia e armazenamento da chuva.

### 3.2. Correlação entre chuvas e transporte de sedimento

A erosão hídrica, que é provocada pela ação da água tem como principais elementos naturais de influência a chuva, solo, relevo e cobertura vegetal. A erosão pluvial está diretamente ligada à intensidade da chuva, a qual é expressa pela quantidade de precipitação em um espaço de tempo. O desprendimento e arraste das partículas do solo é causado por um conjunto de processos que atuam e promovem a desagregação, remoção e deposição, lenta ou acelerada, do material removido. O impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial são os agentes ativos na erosão hídrica (ARROIO JUNIOR et al., 2012).

Segundo Guerra (2009), o *splash* ou salpicamento é o estágio mais inicial do processo erosivo e é provocado pelo impacto das gotas de chuva no solo. A energia cinética desprendida aumenta com a intensidade da precipitação, da velocidade e do tamanho das gotas. O efeito é a desintegração dos agregados, o que facilita o transporte do material pelos fluxos de água. Além disso, as partículas de tamanhos menores preenchem os poros da superfície do solo e formam crostas, que provocam a selagem e a diminuição das taxas de infiltração (LANZA, 2011).

Se o terreno tem pouca declividade, a água da chuva irá escoar menos e menor será o processo erosivo. Quando há vegetação, o impacto da chuva será atenuado porque o solo estará mais protegido. A velocidade de escoamento e o impacto das gotas da chuva no solo ficarão atenuados devido aos obstáculos diminuindo assim a erosão. As raízes dão sustentação mecânica ao solo tornando-o menos erodível. Além disso, as raízes mortas propiciarão canais para dentro do solo onde a água pode penetrar, diminuindo a água escoada na superfície (SANGOI, 2007; CARVALHO et al. 2002; MAGGI et al., 2002; SANGOI, 2007; MEDEIROS et al. 2011).

Há também correlações realizadas com a precipitação total, duração do evento, e as chuvas dos dias anteriores; o solo quando seco tende a absorver mais água durante um evento de chuva e desta forma contribui mais tardiamente com sedimentos carregados para dentro do curso d'água. Já quando este se encontra com um teor considerável de umidade, mesmo com a coesão do substrato e a água, este contribui mais cedo com o escoamento de sedimentos (LOPÉZ-TARAZÓN et al. 2010; RAN, et. al. 2012).

Considerando que as chuvas provocam muita erosão e, em consequência, muito transporte de sedimento, um maior número de medições deve ser feito na estação úmida. No período de estiagem, quando o rio movimentava sedimento da própria calha, geralmente em pequena quantidade e com certa regularidade, as medições ou amostragens podem ser feitas ocasionalmente.

Os efeitos da erosão hídrica podem ser observados no local de origem da erosão (fonte de sedimentos) ou nos rios e reservatórios onde são transportados e depositados, denominados de locais fora do local de origem. É importante ressaltar que a erosão em cabeceiras dos rios provoca a destruição de nascentes, comprometendo o abastecimento dos centros urbanos. As áreas de lavouras perdem sua camada mais fértil e fertilizante nela aplicados, não obstante às áreas de deposição e os corpos d'água recebem material com alta carga de agroquímicos e nutrientes afetando fortemente a qualidade do solo e dos mananciais.

### **3.3. Análise da disponibilidade de sedimentos por de curvas de histerese**

A concentração de sedimento suspenso, geralmente medida em ( $\text{mgL}^{-1}$ ) varia não apenas com a descarga, mas também ao longo do ano. Dessa forma, para uma mesma descarga podem-se obter diferentes valores de concentração a depender da estação do ano ou do posicionamento em relação à passagem da onda de cheia (LELI, 2010).

Em busca da compreensão de como o sedimento e a água são transferidos e quais fatores atuam em maiores ou menores taxas de transferência, é que estudos apontam como boa alternativa a utilização da relação entre a concentração de sedimentos em suspensão ( $C_{ss}$ ) com a descarga líquida ou vazão ( $Q$ ). Essa relação é investigada durante a ocorrência de um evento ou entre eventos, pois os processos que contribuem para a dinâmica do fornecimento, deposição e mobilização dos sedimentos ocorrem nesses períodos. De acordo com Lefrançois et al., (2007) o estudo da relação entre  $C_{ss}$  versus  $Q$ , tem sido realizado em bacias com diferentes tamanhos, entretanto a abordagem desta relação é mais utilizada em bacias pequenas ( $<100\text{km}^2$ ). Os autores descrevem ainda que em bacias de

cabeceira a dispersão dos pontos da regressão na curva (*C<sub>ss</sub> versus Q*) é mais elevada do que em grandes bacias, por causa da maior sensibilidade da *C<sub>ss</sub>* com as fontes locais de sedimentos em bacias menores. Todavia, a relação entre essas variáveis hidrossedimentológicas não é constante para a maioria dos eventos, ou seja, verifica-se que o comportamento de ambas não ocorre de forma sincronizada no tempo.

A histerese é caracterizada como o aparecimento de um atraso na evolução de um fenômeno físico em relação a outro. O gráfico da variação da *C<sub>ss</sub>* versus vazão – *Q* representa a ocorrência do efeito histerese. De maneira geral, a dinâmica da *Q* e da *C<sub>ss</sub>* durante os eventos não apresenta um sincronismo de fase. Também através da elaboração de hidrogramas e de sedimentogramas é possível estudar a variabilidade temporal dessas duas variáveis (KLEIN, 1984; WILLIAMS, 1989; JANSSON, 2002; STOTT, 2006; LEFRANCOIS et al., 2007).

Os sedimentos transportados formam uma onda que acompanha a enchente de três formas diferentes: a) com o pique de sedimentos se antecipando ao pique de enchentes; b) simultaneidade dos piques de enchente e de sedimentos; e c) pique de sedimentos se atrasando ao pique da vazão. O significativo aumento da vazão, oriundo da baixa infiltração em áreas urbanas, em curto intervalo de tempo interfere de forma expressiva no fluxo de sedimentos do canal, pois o aumento de energia disponível acarreta aumento de material transportado (CARVALHO, 1994. MONTANHER et al., 2009).

Para Montanher et al. (2009) o estudo do transporte fluvial de sedimentos durante uma onda de cheia em canais de pequenas bacias hidrográficas é um importante indicador hidrossedimentológico e ambiental. Frequentemente em tais episódios os cursos de baixa ordem realizam mais trabalho do que quando sustentados apenas pelo fluxo de base. A alteração do coeficiente de infiltração, através da impermeabilização com o uso do solo urbano, representa um aumento direto no escoamento superficial. Este significativo aumento da vazão em curto intervalo de tempo interfere de forma expressiva no fluxo de sedimentos do canal, pois o aumento de energia disponível acarreta aumento de material transportado.

Quando o pico de *C<sub>ss</sub>* ocorre depois do pico da vazão, o que acontece com a contribuição de áreas não muito próximas, tem-se uma curva de histerese no sentido

anti-horário. Para Seeger et al., (2004) a curva no sentido anti-horário é gerada quando o solo está próximo à saturação em toda área da bacia e pelo maior volume precipitado. Já as curvas de sentido horário ocorrem quando os sedimentos são mobilizados rapidamente, com a fonte de sedimentos provenientes de depósitos calha fluvial (KLEIN, 1984; LEFRANCOIS et al., 2007).

Quando a curva apresenta tanto o comportamento horário quanto o anti-horário, tem-se um laço com formato em oito. Conforme Williams (1989), isto ocorre quando a  $C_{ss}$  e a  $Q$  começam a aumentar aproximadamente juntas, mas é a concentração de sólidos suspensos que atinge o pico primeiro, produzindo uma curva horária; após a ocorrência do pico da  $C_{ss}$  a disponibilidade e o transporte de sedimentos são suficientemente elevados fazendo com que a  $C_{ss}$  ramo descendente decresça lentamente com o tempo enquanto a  $Q$  decresce mais rapidamente ou, em outras palavras, a inclinação do ramo descendente da  $Q$  é mais intensa que o ramo descendente da  $C_{ss}$  (OTTONELLI et al., 2010).

Conforme já mencionado, o regime da carga suspensa é controlado por vários fatores naturais como forma, relevo, geologia, regime de precipitação, cobertura vegetal e uso e ocupação da bacia. Particularmente em bacias alongadas ou de pequeno porte o pico de concentração e sedimento antecede o pico de descarga de água do rio uma vez que a produção máxima de sedimento ocorre nos primeiros instantes da tempestade. Posteriormente, a sucessiva ocorrência de eventos de tempestade não mantém a produção de sedimento já que toda bacia foi lavada pelas primeiras chuvas e assim, a concentração decresce enquanto a vazão aumenta. Essa situação provoca um movimento no sentido horário no diagrama  $Q \times C_{ss}$  (LELI, 2010).

Destefani (2005) observou que a bacia hidrográfica do rio Ivaí é caracterizada por apresentar rápida subida das vazões logo no início da precipitação, alcançando picos de cheia muitas vezes superiores aos valores médios. A autora atribuiu esse regime principalmente, à forma estreita e alongada da bacia, pela declividade das vertentes e pela geologia do substrato (principalmente basalto com baixa retenção de água subterrânea).



#### 4. METODOLOGIA

A escolha da área de estudo se deu por meio de levantamento bibliográfico em escala regional e reconhecimento de campo em escala local. Levou-se em consideração o fato de já existirem campanhas de monitoramento e dados de sedimentos e vazão para as seções. Em dois trabalhos de campo, realizados em 26 de junho e 22 de agosto de 2012, foi feito o reconhecimento da área da bacia e localização das seções utilizadas neste trabalho.

Uma das três seções está localizada à jusante da cidade de Santa Leopoldina, nas coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM) (Datum WGS 84 24K) 341.574,90 E 7.776.505,11 N W. Nela foram realizadas 5 campanhas de campo (Tabela 01) e coletas análises diárias de sedimentos suspensos para posterior análise de correlações com a incidência de chuvas e suas respectivas alturas. Esta seção será tratada por todo o texto como “Seção à jusante da cidade de Santa Leopoldina”.

Tabela 01: Descrição das datas de realização das campanhas para a seção à Jusante da cidade de Santa Leopoldina.

<b>Setembro</b>	<b>Outubro</b>	<b>Novembro</b>	<b>Janeiro</b>
27/09/2012	12/10/2012	15/11/2012	04/01/2013 13/01/2013

Outras duas seções, aqui chamadas de “Seção à Jusante da UHE Suíça” e “Seção à Montante da UHE Suíça” estão representadas na Figura 01 nas coordenadas (338.539 E 7.777.610 N), e (332.444 E 7.778.597 N) respectivamente, foram utilizadas neste trabalho por já possuírem dados de sedimentometria durante um período específico.

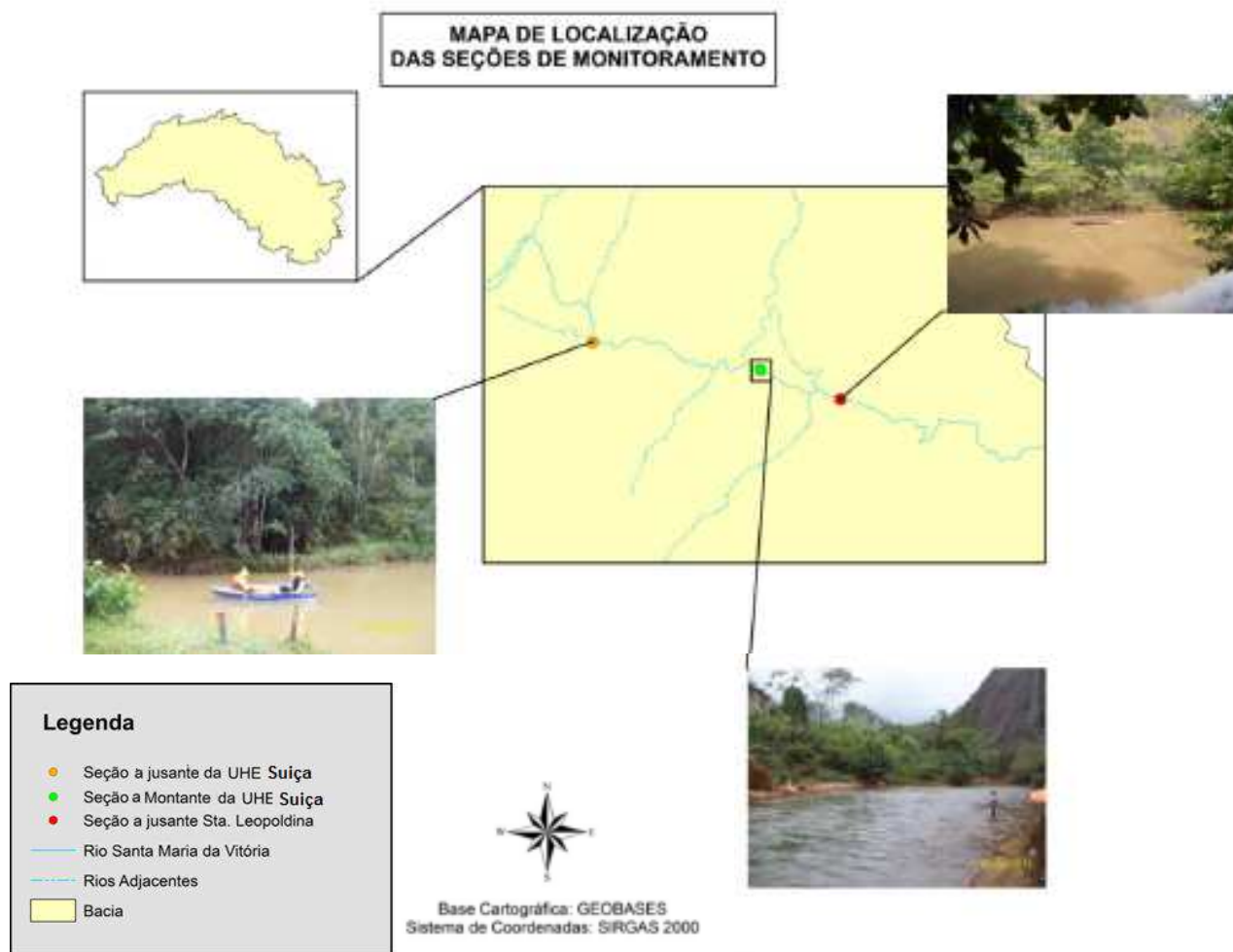


Figura 01: Mapa de localização das seções de monitoramento.

Nestas duas últimas seções mencionadas foram realizadas campanhas antes, durante e após uma operação do dispositivo de descarga de fundo da usina obedecendo às datas da Tabela 02.

Tabela 02: Descrição das datas de realização das campanhas para as seções à Jusante da UHE Suíça e à Montante da UHE Suíça.

Antes da abertura do dispositivo		Durante a abertura do dispositivo	10 dias após o fechamento do dispositivo
09/08/2013	22/08/2012	23/08/2012	30/11/2012

Para as análises e correlações foi realizado um levantamento de dados referentes às estações pluviométricas presentes nas proximidades da área em estudo, sendo selecionados 3 estações de monitoramento de altura de chuva com pluviômetros.

As características das seções como velocidades médias de fluxo, profundidade, temperatura, largura e área foram obtidos com auxílio de um Perfilador Acústico de Corrente do inglês (ADCP – *Acoustic Doppler Current Profile*) modelo RiverRay de 600 kHz (Figura 02).



Figura 02: ADCP em uso durante campanha do dia 13/04/2013.

O flutuador (equipamento utilizado para suportar o ADCP dentro do rio) foi montado à margem do rio e utilizado a função *Bluetooth*. Um computador portátil foi sincronizado ao ADCP e foram fornecidos alguns parâmetros como profundidade máxima, velocidade máxima da água (obtidas de campanhas pretéritas), velocidade do barco e o local para armazenamento dos dados que seriam adquiridos. O barco era então parado perto da margem e fornecido ao equipamento distância da margem e sua localização para dar início a contagem dos *pings* (pulsos sonoros). O flutuador permaneceu em trajetória na posição aproximada de  $45^\circ$  em relação ao fluxo da água, movimentando-se a velocidade constante. O barco foi deslocado de uma margem a outra e os dados gerados instantaneamente foram analisados, e caso fossem observados valores muito diferentes do comumente coletado, novas aquisições de dados eram feitas quantas vezes necessárias até que as medições se tornassem aceitáveis. Os dados foram tratados pelo software *WinRiver*, um software que soluciona os problemas gerados nas medições comparando as profundidades

obtidas anteriormente e posteriormente à medição, descartando os dados possíveis erros provenientes dos efeitos de eco ou fundo móvel.

Em cada uma das campanhas foram coletadas amostras de material de leito e de sedimentos em suspensão. As amostragens de sedimentos objetivam a determinação da descarga sólida, ou seja, quantidade de sedimentos que passam em uma seção transversal por unidade de tempo. Segundo Carvalho et al., (2000), deve-se medir separadamente a descarga em suspensão da descarga de leito, pois as partículas são sujeitas a forças de resistência diferentes.

O material de leito foi coletado com auxílio de um amostrador do tipo Rock-Island (Figura 03) que permite no processo de dragagem coletar uma camada superior de quase 5 cm acima do material do leito. Foi utilizado também um amostrador tipo draga, variando de acordo com a disponibilidade em cada campanha, em três pontos na seção, um central e dois próximos à margem, previamente divididos com auxílio de um cabo graduado fixado de margem a margem. A descarga de sedimentos de fundo foi medida utilizando um amostrador modelo Helley-Smith posicionado nos mesmos três pontos de amostragem do material de leito, onde permaneceram por 25 minutos.



Figura 03: Amostrador tipo Rock-Island

A descarga em suspensão foi efetuada para o conhecimento do valor do transporte em suspensão, concentração de sedimentos e da distribuição granulométrica e

como a distribuição do sedimento não é uniforme foram necessárias tomadas de amostras em pontos ao longo da seção escolhida. Esta amostragem foi feita em um número adequado de posições e após o conhecimento da velocidade média em cada vertical amostrada. Na amostragem por integração 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 do leito. Para tanto são utilizados equipamentos constituídos por um recipiente com uma abertura para a entrada de água-sedimento e outra para saída de ar, os mais utilizados no Brasil são USDH-48 e USDH-49.

Neste trabalho também foram realizadas medidas de sólidos suspensos e dissolvidos obtidos através do método de igual incremento de largura com o auxílio de um equipamento USDH 59 em cinco pontos na seção transversal. Tanto a medição de vazão quanto a da descarga sólida foram considerados valores instantâneos e para as amostras de sólidos suspensos e de leito foram analisadas suas características granulométricas. Para a realização da correlação entre a concentração de sedimentos e a incidência de chuvas amostras diárias de sedimentos suspensos também foram coletadas com auxílio de um suporte de madeira e uma garrafa pet de 500mL duas vezes por dia em um período de 6 meses, totalizando 362 amostra.

#### **4.1. Descrição da região em estudo**

A bacia do rio Santa Maria da Vitória (Figura 04) situa-se na região central do estado do Espírito Santo, entre as coordenadas UTM. 7793375 (N) 328297 (E) 7762159 (S) 286984 (W), de acordo com a carta nº. 24 do IBGE.

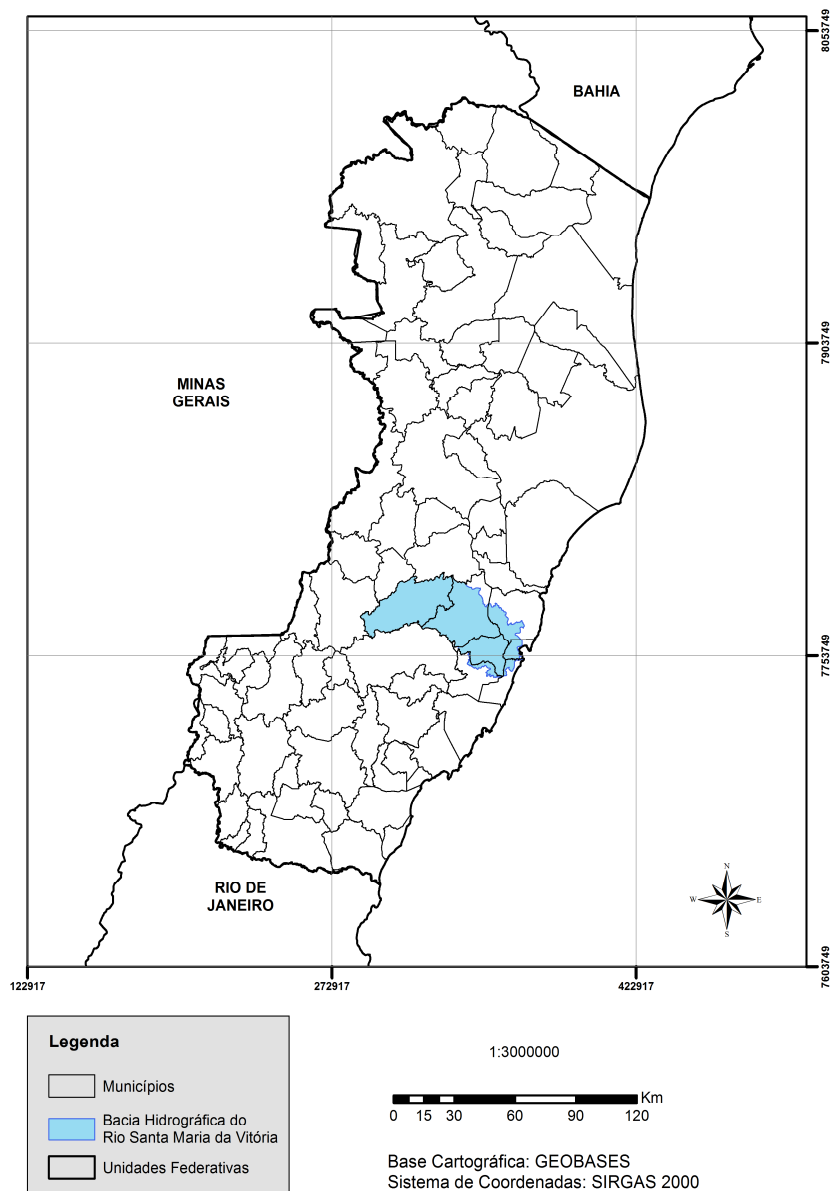


Figura 04: Localização e delimitação dos municípios ocupados pela Bacia do rio Santa Maria da Vitória no estado do Espírito Santo.

Possui área aproximada de 1.916 km<sup>2</sup> o que corresponde a 3,5% da área do Espírito Santo. Nasce na região serrana do estado e engloba os municípios de Santa Maria de Jetibá, Santa Leopoldina e parte de Cariacica, Serra, Vila Velha, Viana e Vitória (Figura 05).

## LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA

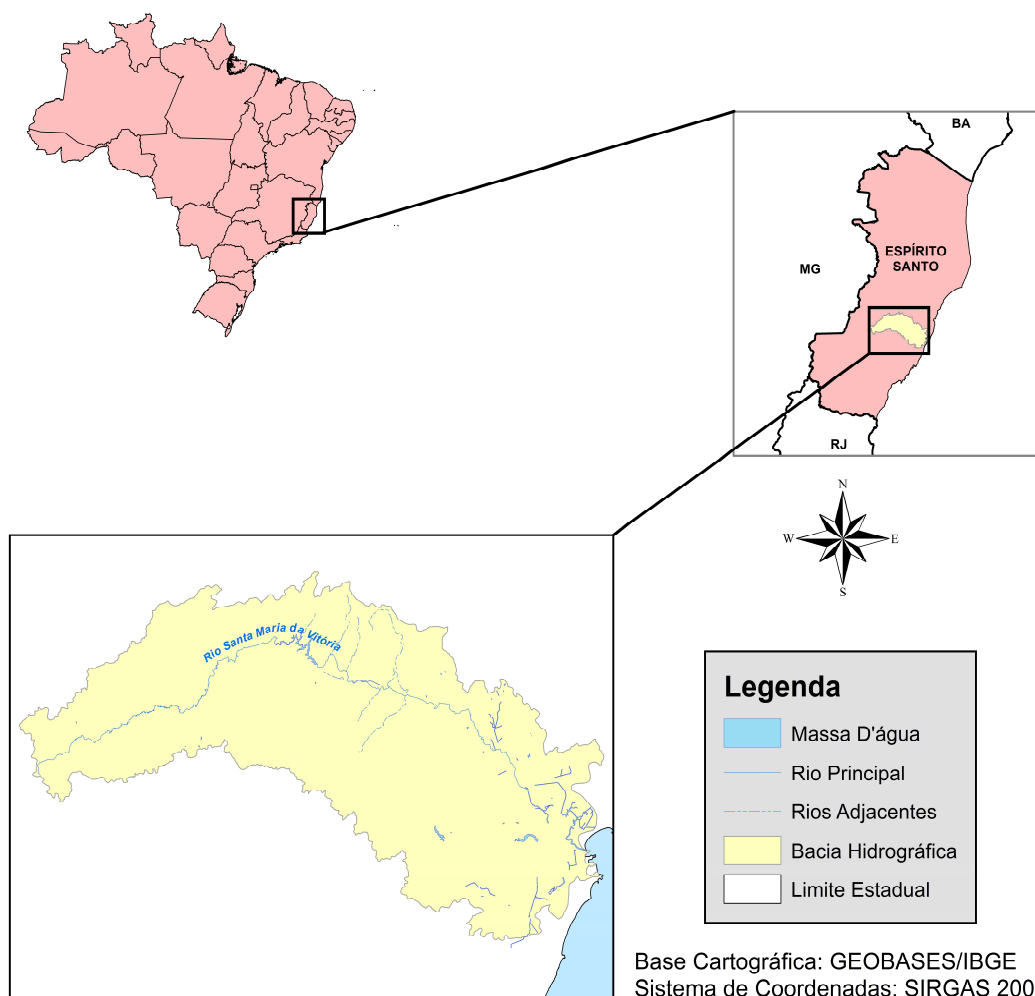


Figura 05: Localização da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória no mapa do Brasil e em sequência a seção à Jusante da cidade de Sta. Leopoldina.

As precipitações pluviométricas anuais da bacia do rio Santa Maria variam de 1100 à 1300 mm nas proximidades do litoral e crescem em direção à cabeceira até a ordem de 1800 mm, e de acordo com a classificação de Köppen o clima predominante na região é o tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno e temperaturas médias variando entre 19°C e 28°C. Apresenta um desnível de aproximadamente 1.100m entre a nascente e a foz e percorre cerca de 122 km até desaguar na Baía de Vitória, na forma de um delta (CORREIA, 2003).

Seus principais afluentes são, pela margem esquerda, os rios Possmouser, Claro, São Luís, Bonito, da Prata e Timbuí e, pela margem direita, os rios Mangaraí, das Pedras, Caramuru, Duas Bocas, Triunfo, Jequitibá, Farinhas, Fumaça e São Miguel.

Em seu curso final, depois de atravessar a cidade de Santa Leopoldina o rio tem parte de suas águas captadas para o abastecimento de cerca de parte da população da grande Vitória. Cabe ainda ressaltar, que o rio Santa Maria da Vitória apresenta especial importância quando considerado o principal tributário de água doce, do seu estuário e da Baía de Vitória, provendo a manutenção de uma área de 18 km<sup>2</sup> de manguezais, localizados na sua desembocadura.

Enquanto seus afluentes cortam várias comunidades com atividades econômicas voltadas para a agricultura, seu leito principal recebe os efluentes domésticos da cidade de Santa Maria de Jetibá e Santa Leopoldina (Figura 06) e sofre dois barramentos, dos reservatórios de Rio Bonito e Suíça.



Figura 06: Vista geral da cidade de Santa Leopoldina e do Rio Santa Maria da Vitória.

A PCH de Rio Bonito fica localizada no município de Santa Maria de Jetibá, no rio Santa Maria da Vitória. A barragem fica 10 km antes da sede do município, teve sua construção iniciada em 1952 e foi inaugurada em 1959. A usina gera energia para o sistema Escelsa, tendo capacidade instalada de 15 MW. O reservatório é cercado de reservas florestais e de pequenas propriedades produtoras de hortifrutigranjeiros. Com uma potência de 15 MW apresenta vazão máxima de 4,4 m<sup>3</sup>/s por turbina. Tem um reservatório de 2,2 km<sup>2</sup>, volume aproximado de 26.350.000 m<sup>3</sup> e uma área de drenagem aproximada de 542 km<sup>2</sup>.



A UHE Suíça (Figura 07) está localizada nas coordenadas UTM 335.125,91 E / 7.778.543,75 N (*Datum* WGS84) no município de Santa Leopoldina. Devido às suas acentuadas declividades e proximidade com o principal centro consumidor, Vitória objetivando o aproveitamento do potencial hidráulico do Rio Santa Maria da Vitória, a usina foi inaugurada em 1965. Imediatamente acima de uma queda d'água no rio Santa Maria da Vitória, apresentando altura de queda útil de 240 m entre a parte superior e a continuidade do curso fluvial, tem potência de 30 MW com um reservatório com 0,6 km<sup>2</sup> de área inundada de 0,21 km<sup>2</sup>, volume aproximado de 1.300.000m<sup>3</sup> e área de drenagem aproximada de 804 km<sup>2</sup>. É constituída por vertedouro, composto por 4 (quatro) comportas tipo setor, comporta de descarga de fundo tipo válvula difusora e tomada d'água.

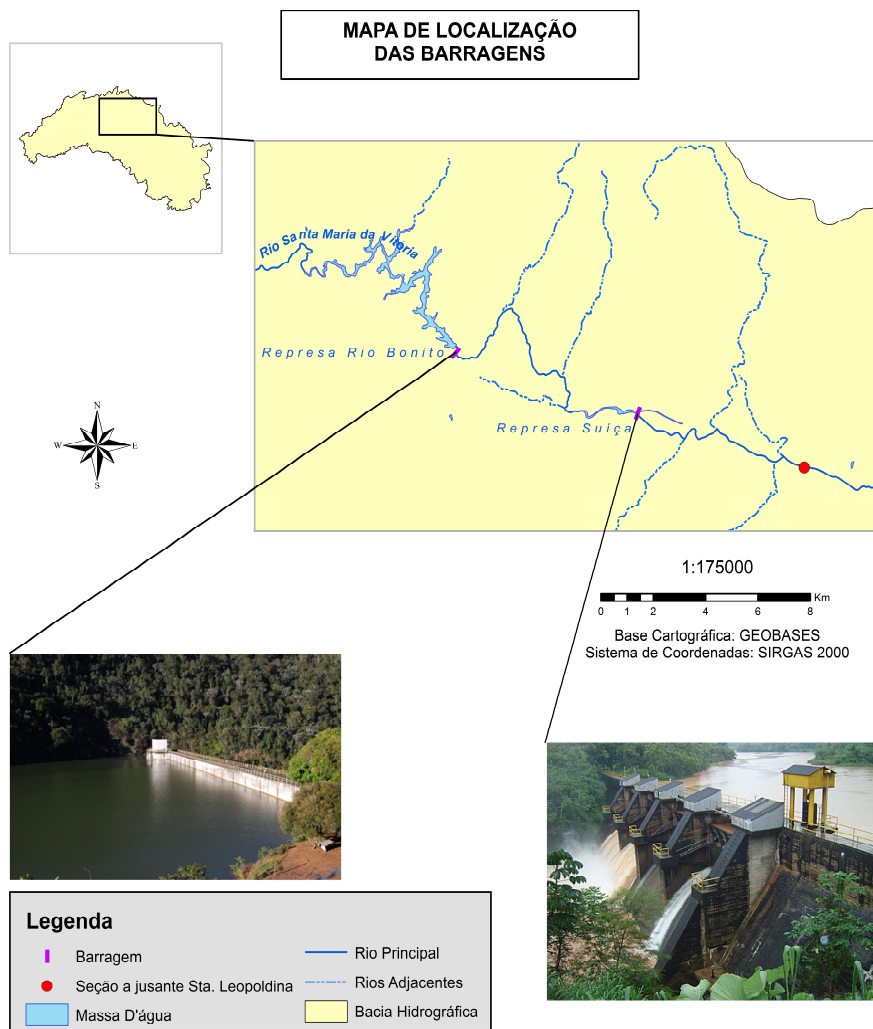


Figura 07: Detalhe da região de localização dos dois barramentos de Rio Bonito e Suíça e em sequência a seção à jusante da cidade de Santa Leopoldina.

#### 4.2. Medição da descarga sólida em suspensão

As medições de descarga sólida de sedimentos em suspensão, foram realizadas pelo método de igual incremento de largura e igual velocidade de trânsito do amostrador USDH 59, com bico de 3/16". As amostragens foram feitas em 5 verticais, com auxílio de cabo graduado. Os pontos de tomadas de dados foram coincidentes com verticais de medição de velocidades obtidas com o ADCP (Figuras 08 e 09). As amostras foram acondicionadas em garrafas plásticas identificadas e levadas para o LABHIDRO/UFES para processamento e determinação das concentrações de sólidos suspensos e dissolvidos determinadas através do Método de Filtração.



Figura 08: Vista geral da campanha realizada no dia 26/06/2012 durante a tomada de dados de sólidos suspensos em uma das verticais.

Para elaboração da curva granulométrica foram coletadas em amostradores de 5 litros água da seção estudada em três pontos distintos, um na região central da seção e outros dois próximos às margens. Os dados para elaboração da curva granulométrica dos sedimentos em suspensão foram obtidos através do Método do Tubo de Retirada pela Base (CARVALHO, 2008).

A classificação granulométrica dos sedimentos suspensos foi feita segundo a *American Geophysical Union* (DNAEE, 1970 *apud* CARVALHO, 2008). Já a estimativa de descarga sólida em suspensão foi feita com uso da Equação 1, apresentada a seguir:

$$Q_{ss} = 0,0864.Q.C_{ss} \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

$Q_{ss}$  é a descarga sólida em suspensão (t/d);

$Q$  é a descarga líquida ( $m^3/s$ ) e

$C_{ss}$  é a concentração de sedimentos suspensos (mg/L).

Os resíduos da filtração foram levados à estufa, onde permaneceram por cerca de uma hora a temperatura em torno de  $100^{\circ}C$ . A concentração foi determinada pelo peso seco do sedimento em suspensão contido na amostra em relação ao volume total calculado com a equação 2 (Carvalho, 1994 e Carvalho *et al.*, 2000).

$$C_s = P/V \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$P$  = peso seco do sedimento

$V$  = volume da mistura água-sedimento



Figura 09: Utilização do amostrador USDH 59 para coleta de sedimentos em suspensão na campanha de 04/01/2013.

#### 4.3. Análise diária dos sedimentos e correlação com eventos de chuva

As correlações de sedimentos suspensos com as alturas de chuvas incidentes nos pluviômetros foram feitas com base nas amostras coletas na Seção à jusante da cidade de Santa Leopoldina. Esta seção é caracterizada pela localização entre montanhas e vegetação arbórea (Figura 10; A e B). A seção apresenta sua margem direita com um declive seguido de uma subida, permanecendo o centro da seção com fundo relativamente regular seguido por um novo declive que se encerra suavemente até a margem esquerda, conforme Figura 10.

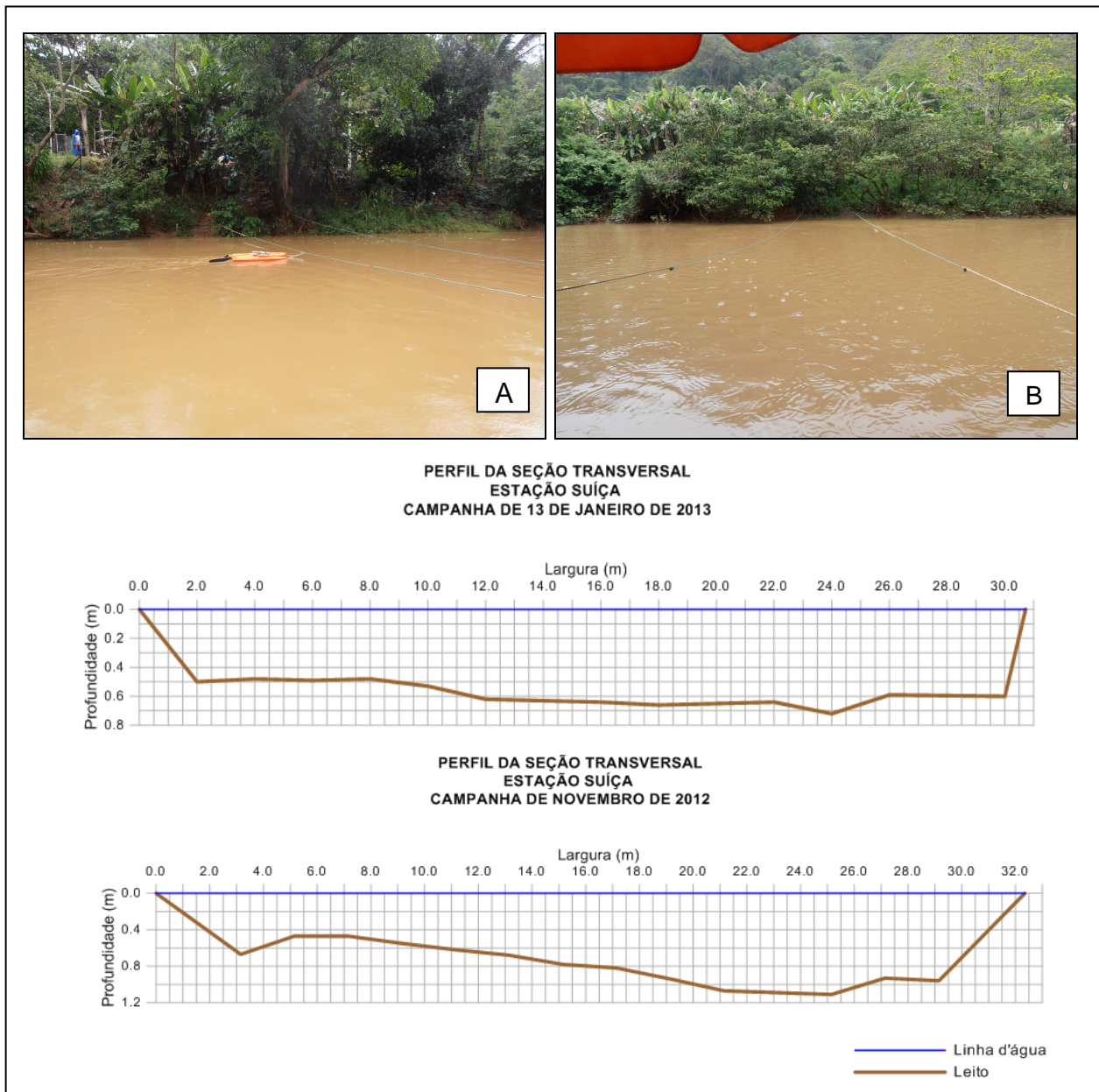


Figura 10: Descrição do formato da Seção em estudo. Em A vista geral da margem direita da seção e em B vista geral da margem esquerda.

Os dados de chuva para correlação com a concentração de sólidos suspensos foram obtidos no período de janeiro/12 a março/13. Durante este período uma

pessoa residente próximo a seção de estudo foi orientada a utilizar como amostradores garrafas pet de 500 mL para a coleta da solução de água e sedimentos em uma região mais central do rio. As amostras foram tomadas duas vezes ao dia, às 7:00hs e às 17:00hs com auxílio de uma haste de madeira de aproximadamente 2,00m de comprimento. Este suporte permitiu que a amostra fosse tomada a uma distância considerável da margem evitando que a mesma sofresse influência direta dos sedimentos presentes nas margens. Ao fim da haste de madeira estava encaixado outro suporte de arame onde era acoplada uma garrafa de 500mL. Em cada coleta, a garrafa era imersa parcialmente na água do rio, na direção contrária a corrente, e ao perceber que o volume da mesma estava parcialmente cheio o indivíduo retirava a garrafa da água. Em seguida a identificava com hora e nível do rio (através da leitura da régua limnimétrica anexa a seção) e então a armazenava ao abrigo de sol e calor. A obtenção da vazão no momento da coleta foi obtida através da curva chave da seção em estudo expressa na Figura 11.

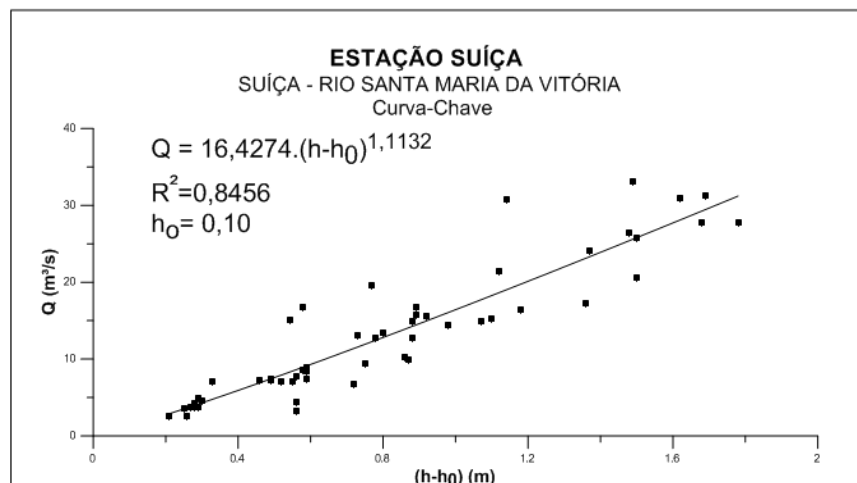


Figura 11: Curva chave para a seção em estudo. Pontos obtidos por coletas referentes a outras campanhas realizadas na mesma seção ao longo dos últimos anos

Estes valores foram correlacionados com os dados de altura de chuva no pluviômetro anexo a seção. Neste trabalho, também foram utilizados dados de mais dois pluviômetros distribuídos na bacia de acordo com a Figura 12 a seguir.

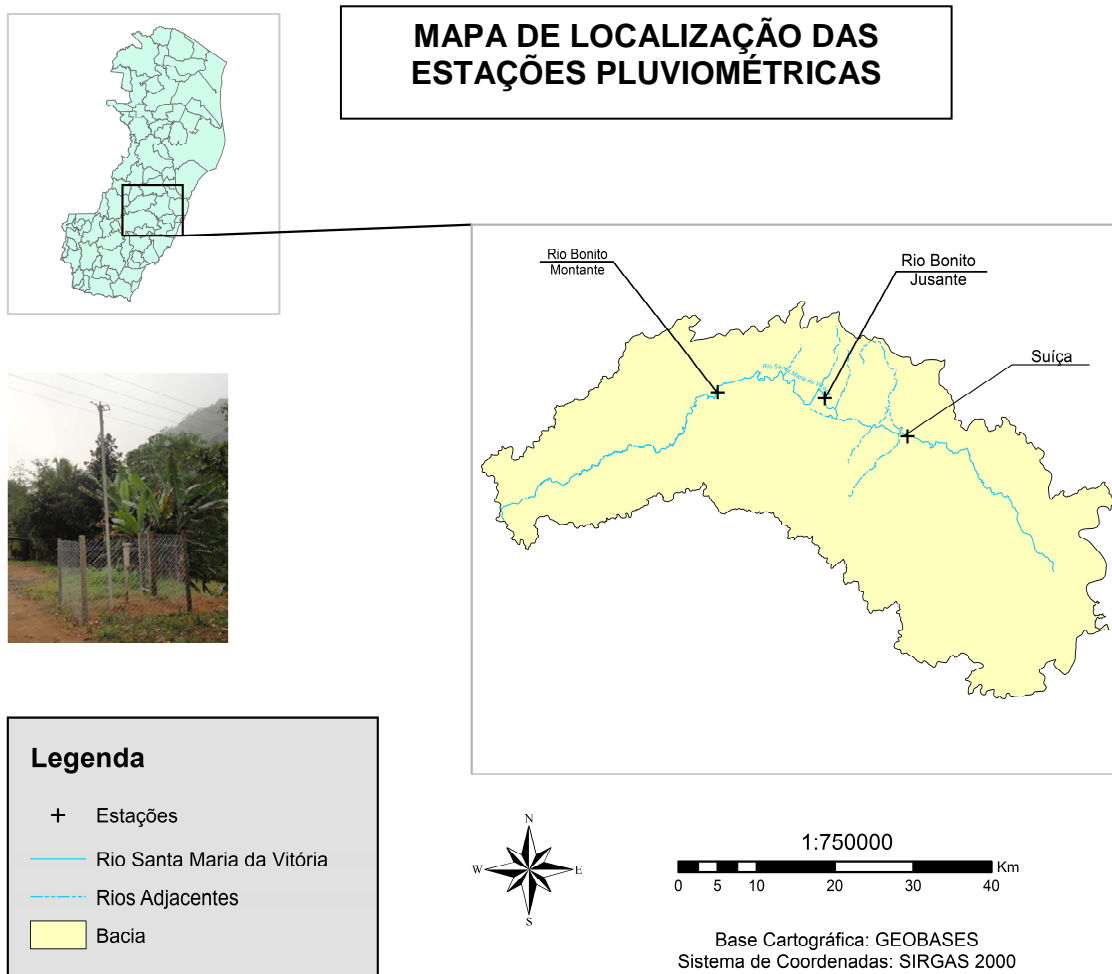


Figura 12: Mapa de localização dos pluviômetros na bacia. Ao lado esquerdo detalhe do pluviômetro instalado na seção à jusante da cidade de Santa Leopoldina.

A estimativa da carga em suspensão foi feita com base nas coletas das amostras individuais de sedimentos suspensos realizadas às 7:00 e às 17:00hs e calculada pela equação (1). Em seguida foi feita uma média simples dos dois horários para cada dia e posterior associação a altura de chuva correspondente para aquele dia. Para cada valor elevado de concentração foi observada a ocorrência ou não de chuvas; quando ausente observou-se então a ocorrência de chuvas nos dois dias anteriores, caso negativo foi realizado uma observação geral nos dados buscando valores semelhantes em dias de não ocorrência de chuva. Permanecendo a discrepância entre o encontrado no geral das 252 amostras este dia era eliminado da análise de dados.

#### 4.4. Análise e coleta de dados durante eventos chuvosos para elaboração das curva de histerese

A metodologia para elaboração de curva de histerese seguiu os mesmos passos da metodologia exposta no item anterior. Entretanto esse procedimento não foi repetido em horários determinados com feito para as análises diárias. Para estas análises foi necessário que o indivíduo residente próximo ao rio notasse o início da ocorrência de um evento de chuva e a partir deste momento o procedimento foi executado em intervalos regulares não superiores a 45 minutos. Cada evento de chuva foi estudado separadamente e sucessivamente, foi elaborada uma curva de histerese ( $C_{ss}$  x  $Q$ ). Por fim foram excluídos das análises os eventos que não somaram números de amostras superiores a três, para a melhor confecção das curvas.

#### 4.5. Medição de sólidos de leito

Para determinação da descarga sólida de leito e para a distribuição granulométrica dos sedimentos presentes, foram coletadas amostras utilizando o amostrador *Rock-Island* de penetração horizontal e também draga (Figura 13), em três transversais representativas, separadas de forma uniforme na seção.



Figura 13: Utilização do amostrado tipo draga para coleta de sedimentos de fundo na campanha de 04/01/2013.

As amostras de aproximadamente 500g eram retiradas e levadas até uma bandeja e a draga aberta com cuidado para que o sedimento não fosse perdido (Figura 14).

Em seguida as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e encaminhadas para o LABHIDRO/UFES. As curvas granulométricas foram obtidas a partir dos resultados das análises dos sedimentos, pelo Método de Peneiramento. A classificação granulométrica dos sedimentos de fundo foi feita segundo metodologia indicada pela *American Geophysical Union* (DNAEE, 1970 *apud* CARVALHO, 2008).



Figura 14: Detalhe da abertura da draga durante coleta de sedimentos de fundo na campanha do dia 04/01/2013.

#### 4.6. Cálculo da descarga sólida total

A descarga sólida total foi estimada pelo Método de Einstein Modificado por Colby e Hembree (1955). Este método calcula a descarga total de sedimentos a partir de medidas da descarga de sedimentos em suspensão na seção do rio até uma pequena distância do fundo e de extrapolação da carga em suspensão medida até o fundo (CARVALHO, 2008). Com a metodologia descrita, foram obtidas as descargas sólidas de arraste, em suspensão e total. O cálculo foi feito a partir de parâmetros hidráulicos da corrente na seção do rio monitorada, considerando as características do material amostrado em suspensão e no leito do rio. Os dados utilizados foram os seguintes:

- vazão ( $m^3/s$ );
- velocidade média de escoamento ( $m/s$ );
- área da seção transversal ( $m^2$ );
- largura da seção transversal ( $m$ );



- profundidade média das verticais de coletas de sedimentos (m);
- concentração de sedimentos em suspensão (ppm ou mg/l);
- distribuição granulométrica de materiais do leito e em suspensão coletados na seção (m);
- temperatura da água (°C);

Para estimativas das descargas sólidas totais, as amostras de sedimentos foram classificadas em faixas granulométricas. A partir da Equação 2, considerando as vazões obtidas em cada campanha e as concentrações médias de sedimentos em suspensão, estimou-se as descargas sólidas de sedimentos suspensos. A partir de planilha de cálculo e ábacos, apresentados por Carvalho (2008), foram feitas estimativas das descargas de fundo ( $Q_{sa}$ ) (Equação 3) e descargas sólidas totais estimadas pelo método de Einstein Modificado ( $Q_t$  Einstein).

$$Q_{sa} = \left[ \sum \frac{1}{E_{am}} \cdot \frac{p_s \cdot (d_{i+1} - d_{i-1})}{l_a \cdot t} \right] \cdot 86,4$$

(Equação 3)

Onde:

$E_{am}$ : eficiência hidráulica do equipamento;

$P_s$ : peso seco da amostra no ponto, [kg];

$(d_{i+1} - d_{i-1})$ : distância entre a metade da largura vertical antecedente ao ponto;

$L_a$ : largura da boca do amostrador, [m];

$T$ : tempo de amostragem, [s].

As descargas de fundo foram obtidas através da utilização do amostrador Helley Smith (Figura 15) que possui uma abertura de entrada de 3 x 3 polegadas (7,6 x 7,6 cm), uma taxa de expansão de área (relação entre a área de saída do bico para a área de entrada) de 1,40, e tamanho de abertura da malha do saco de coleta de amostras de 0,25 mm. Segundo Hubbell *et al.* (1985) para esta configuração, a eficiência hidráulica do amostrador encontrada nos experimentos foi de 1,35. O amostrador permaneceu por 25 minutos no leito em todas as campanhas em três pontos distintos (as mesmas seções transversais utilizadas na coleta de sedimentos de fundo) na mesma seção.



Figura 15: Amostrador Helley Smith.

Esse tempo foi definido após recomendação de Meneguel, (2012) de forma que o mesmo fosse suficiente para coletar uma quantidade razoável de sedimentos, mas como o cuidado de que o volume coletado não correspondesse a mais que 40% do tamanho do saco do amostrador, evitando que a eficiência de amostragem fosse reduzida.

Passado o período necessário, o amostrador foi içado vagarosamente (Figura 16), e colocado em posição adequada para a retirada do sedimento da cesta. O sedimento coletado foi colocado em sacos plásticos, procurando-se fazer com cuidado para não perder os finos. As amostras foram etiquetadas com dados do ponto amostrado, data, hora da coleta e profundidade, e encaminhadas ao laboratório para as análises (CARVALHO *et al.*, 2000, CARVALHO, 2008).



Figura 16: Utilização do amostrador Helley Smith durante a campanha do dia 26/06/2012.

#### 4.7. Medição de velocidades e vazão por ADCP

Para a realização da medição do transporte de fundo foi utilizada a função *bottom track*. Seguindo a metodologia de Rennie & Rainville (2006) o DGPS (do inglês - *Differential Global Positioning System*) acoplado a um barco e nele também acoplado o ADCP, permaneceriam parados em um determinado ponto por 25 minutos (Figura 17). Porém a metodologia necessita que a comparação seja realizada através da diferença entre velocidades conforme equação 4 abaixo.

$$V_B = V_{DGPS} - V_{BT} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$V_B$  = Velocidade média das partículas de sedimentos no leito do rio, [m/s];

$V_{DGPS}$  = Velocidade do barco medida pelo DGPS, [m/s];

$V_{BT}$  = Velocidade aparente do instrumento dada pelo recurso *bottom track*, [m/s].



Figura 17: Posicionamento do DGPS e flutuador do ADCP em uma das campanhas realizadas

Para tanto o mesmo foi mantido em uma posição estacionária por um período de aproximadamente 25 minutos em cada ponto de coleta. Juntamente com a coleta de dados do ADCP foram coletados dados de posicionamento com o receptor DGPS (Sistema Diferencial de Geo-posicionamento por Satélite) Trimble Pro-XR para verificar os possíveis deslocamentos da embarcação durante o período de coleta. As coletas de dados de velocidade de fundo com o ADCP foram realizadas nos mesmos pontos de coleta do amostrador modelo Helley Smith.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Correlação chuva x sedimento

#### 5.1.1. Dados obtidos das campanhas de monitoramento

Após análise dos dados obtidos nas campanhas dos dias 09 e 22 de agosto, nas Seções à Montante da UHE Suíça e Jusante da UHE Suíça foram encontrados valores (Tabela 03) de sólidos suspensos totais (SST) sem variações significativas entre as seções, assim como os valores de turbidez, indicando que apesar da presença do reservatório de Suíça pouco sedimento fica retido no mesmo.

Entretanto os valores obtidos na campanha do dia 23/08 apresentaram-se alterados devido à influência da abertura da comporta de fundo, sendo possível observar essa alteração através dos valores mais altos de SST entre as duas seções e também em relação à turbidez. Na campanha do dia 30/11 foi possível observar que há um aumento da concentração de sólidos totais suspensos a jusante do reservatório. Este valor muito distinto do encontrado nas campanhas dos dias 09 e 22 de agosto se devem provavelmente aos altos valores de chuva observados para a região no dia da campanha, que foram de 38,4 mm em Suíça; 60,9 mm em Rio Bonito Jusante, contribuindo com o aumento da concentração de sedimentos.

Tabela 03: Valores de Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e Turbidez (T), medidos em dois pontos, antes, durante e após a abertura do dispositivo de fundo da UHE Suíça.

Data	Antes (09/08/2012)		Antes (22/08/2012)		Durante (23/08/2012)		Após (30/11/2012)	
	Montante UHE Suíça	Jusante UHE Suíça	Montante UHE Suíça	Jusante UHE Suíça	Montante UHE Suíça	Jusante UHE Suíça	Montante UHE Suíça	Jusante UHE Suíça
SST (mg/L)	10,6	11,6	6,6	8,8	7,0	26,2	12,2	42,0
SDT (mg/L)	14,6	13,0	65,4	49,4	73,0	56,2	40,2	34,2
T (NTU)	4,8	5,7	25,5	36,0	29,1	49,0	23,0	49,5

Foi atribuída também a afirmativa da não retenção de sedimentos finos, no reservatório de Suíça, a pequena área e volume do mesmo (0,6 km<sup>2</sup> e 1.300.000 m<sup>3</sup>) bem como a elevada queda (240 m) que ocorre entre o reservatório e a seção à

jusante de UHE Suíça, o que favorece que todo sedimento que saia do reservatório não fique retido durante o trajeto até a seção.

Na Figura 18, pode-se notar a presença da sub-bacia do Ribeirão Crubixa-Mirim entre as seções a jusante da UHE Suíça e a jusante da cidade de Santa Leopoldina. Entretanto, de acordo com o observado acima, deve-se considerar não somente a contribuição desta sub-bacia e sim de todas existentes entre o reservatório da usina de Rio Bonito e a seção, pois todas podem estar contribuindo com sedimentos verificados nas campanhas e no período de monitoramento (Figura 18).

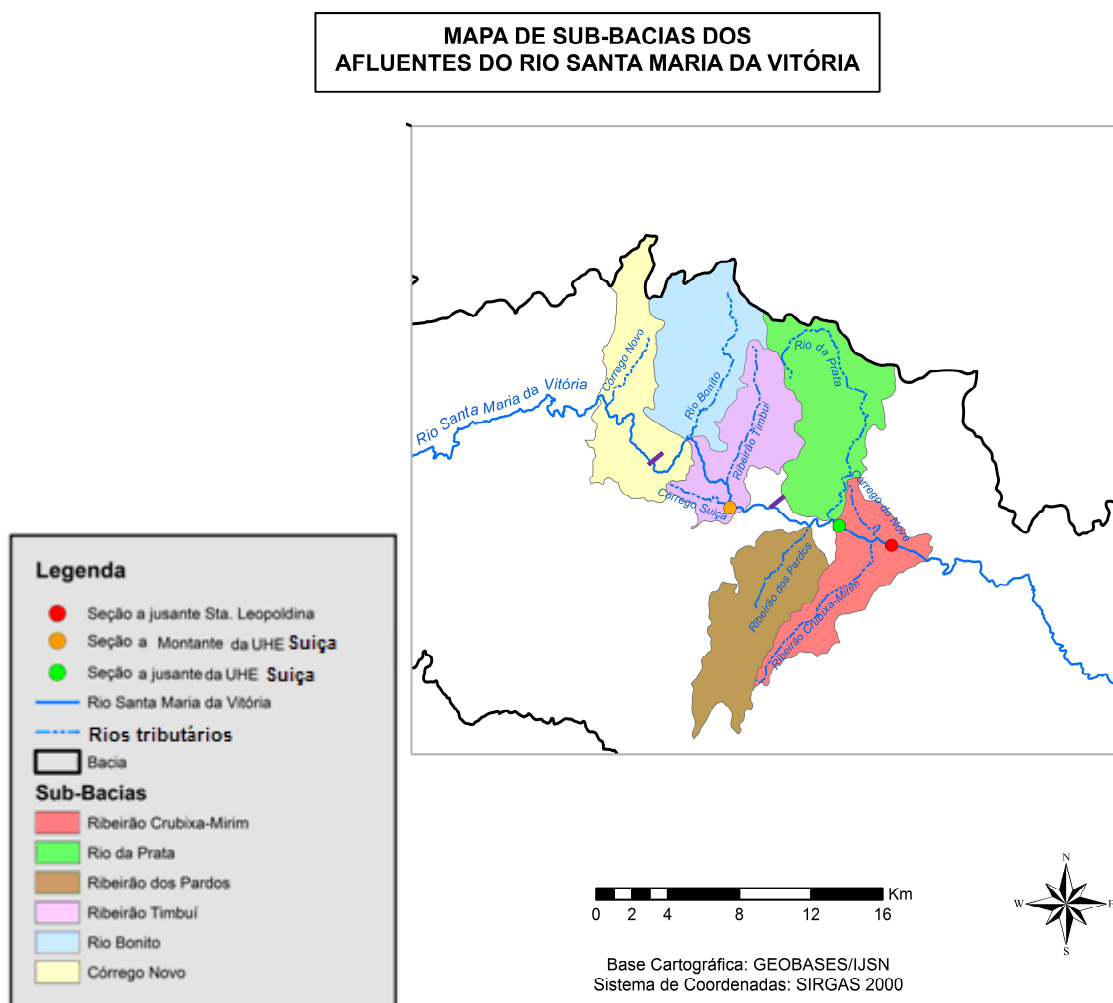


Figura 18: Mapa das principais sub-bacias contribuintes e seus rios/córrego com a localização das três seções monitoradas.

A tabela 04 descreve a situação de ocorrência de chuva em um período de dois dias até a campanha realizada na Seção a Jusante da cidade de Santa Leopoldina, em todas as três estações monitoradas. Em relação à campanha do dia 27/09 observa-se a presença de chuvas apenas no dia anterior a coleta. Mesmo nessa condição foi

registrada uma alta concentração de sedimentos suspensos, indicando que estes valores podem ser reflexos da chuva ocorrida no dia anterior. Isto pode ser comprovado pelo fato de que mesmo em condições semelhantes em outras campanhas, não foram encontrados concentrações de sedimentos altas como a desta campanha.

Na campanha do dia 12/10 foram registradas chuvas, entretanto encontrou-se valores menores de sólidos suspensos totais que na campanha anterior; já a campanha do dia 15/10, apresentou chuva de 26,6 mm para a estação Suíça. A ocorrência de chuvas de altos valores durante a campanha e durante os dois dias que a antecederam não reflete a concentração de sedimentos suspensos totais encontrados (13,8 mg/L), pois de acordo com a incidência das chuvas era esperado um valor mais alto.

Tabela 04: Demonstrativo das chuvas ocorridas nos dois dias que antecederam as campanhas, no dia anterior à campanha e no dia da campanha nas estações de Rio Bonito Montante (RBM), Rio Bonito Jusante (RBJ) e Suíça (S) (Valores de SST – sólidos suspensos totais referente a seção à Jusante da cidade de Santa Leopoldina).

Data da coleta	Chuva (mm) dois dias antes da coleta			Chuva (mm) no dia anterior a coleta			Chuva (mm) no dia da coleta			SST (mg/L)
	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	
27/09/2012	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	36,20
	0	0	0	19,2	24,5	17,6	0	0	0	
12/10/2012	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	13,60
	0	0	0	0	0,1	0	26	3,8	6,4	
15/11/2012	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	13,80
	44,6	19,8	25,9	0,1	0,3	0,8	26,6	21,3	26,1	
04/01/2013	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	6,30
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13/01/2013	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	6,00
	15,5	11,5	8,4	3,9	4,9	7,1	0,5	0	0,2	

Isto demonstra que os efeitos das chuvas na concentração de sedimentos, na seção à Jusante da cidade de Santa Leopoldina podem não ser sentidos imediatamente após a incidência ou mesmo durante as chuvas. Conclui-se, portanto que pode ser

necessário um período para que o sedimento transportado pelas águas das chuvas chegue até a seção.

Na tabela 05 está descrita a ocorrência de chuvas em um período de dois dias até as campanhas realizadas nas Seções à Montante e à Jusante da UHE Suíça. Como pode se observar nas campanhas dos dias 9 e 22 de agosto os valores encontrados à montante e a jusante não se alteraram muito mesmo com a incidência de chuvas.

Tabela 05: Demonstrativo das chuvas ocorridas nos dois dias que antecederam as campanhas, no dia anterior à campanha e no dia da campanha nas estações de Rio Bonito Montante (RBM), Rio Bonito Jusante (RBJ) e Suíça (S). (Valores de SST – sólidos suspensos totais referente as seções Montante e à Jusante da UHE Suíça).

Data da coleta		Chuva (mm) dois dias antes da coleta			Chuva (mm) no dia anterior a coleta			Chuva (mm) no dia da coleta			SST (mg/L)
		S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	
09/08/12		S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	
	Montante UHE	0	0	0	2,9	0,2	2,7	6,7	0,1	4,4	10,6
	Jusante UHE										11,6
22/08/12		S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	
	Montante UHE	20,7	3	22,1	3,3	2,3	16,5	6,7	3,8	13,9	6,6
	Jusante UHE										8,8
23/08/12		S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	
	Montante UHE	3,3	2,3	16,5	6,7	3,8	13,9	3,9	4,8	12,4	7,0
	Jusante UHE										26,2
30/11/12		S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	S	RBM	RBJ	
	Montante UHE	0	0	0	0,6	0,1	2,5	38,4	20,3	60,9	12,2
	Jusante UHE										42,0

Em relação aos valores encontrados na campanha do dia 23 de agosto não foi possível realizar conclusões precisas devido à interferência exercida pela abertura do dispositivo de fundo, que contribuíram com uma grande quantidade de sedimentos desde suspensos até de fundo.

Na campanha do dia 30 de novembro foram encontrados valores muito diferentes a montante e a jusante do reservatório assim como alturas de chuvas muito superiores no dia da campanha em relação às outras coletas. Desta forma acredita-se que estes valores podem ser associados à influência e contribuições de sub-bacias adjacentes como a do Rio da Prata e Ribeirão dos Pardos.

Ao verificar a correlação entre a concentração de sedimentos suspensos nas campanhas realizadas e a vazão verificou-se um valor de  $R^2=0,1751$  (Figura 19).

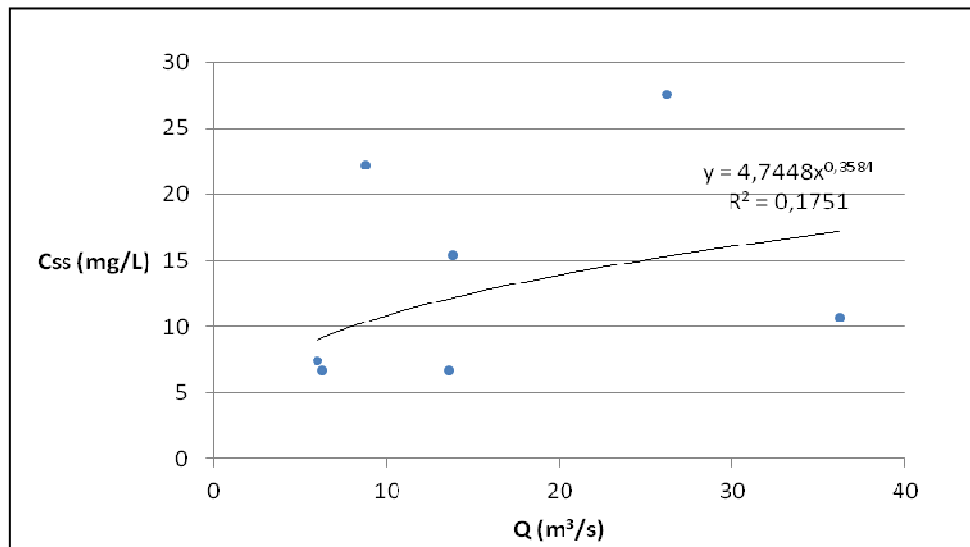


Figura 19: Correlação entre concentração de sedimentos suspensos transportados x vazão registradas em cada campanha para a Seção a jusante da cidade de Santa Leopoldina.

Souza Filho (2009) encontrou baixo valor de determinação entre a concentração de sólidos suspensos e a vazão ( $R^2=0,1491$ ), e atribuiu estes valores à construção das barragens em cascatas ao longo da seção longitudinal do Rio Capibaribe, alterando a dinâmica do transporte do sedimento suspenso, assim com o Medeiros, et al. (2011) com  $R^2 = 0,16$ . Entretanto uma vez que a situação natural dos sistemas fluviais é pouco conhecida, raramente há parâmetros de referência para a comparação entre as condições existentes antes e depois da construção da obra, dificultando a obtenção de modelos preditivos. Se os modelos de impactos ambientais de uma barragem ainda são precários, os modelos de avaliação de impactos de barragens distribuídas em cascata são praticamente desconhecidos e os que envolvem a avaliação de impactos em sistemas fluviais de grande porte em regiões tropicais são pouco encontrados.

Assim como os autores acima citados a correlação encontrada neste trabalho entre as vazões e as concentrações de sedimentos suspensos também foram baixas.



Entretanto não podemos afirmar que o valor encontrado deve-se a interferência das barragens devido ao baixo número de pontos utilizados para fazer esta correlação.

### **5.1.2. Dados obtidos das coletas diárias de sedimentos**

Durante o período do monitoramento ocorreram aproximadamente 52 eventos chuvosos envolvendo eventos de baixa, média e alta magnitude. Desta forma foram avaliadas na Seção à jusante da cidade de Santa Leopoldina a correlação da carga de material em suspensão e a vazão nesses dias chuvosos. Quando a incidência de chuva era inferior a 2 mm, o dia era eliminado da análise, devido a pouca influência sobre o escoamento superficial que estes eventos causariam e conseqüente transporte de sedimentos. Na Figura 20, está demonstrado um gráfico com a concentração de sedimentos totais em suspensão, chuvas totais no dia, vazão e o nível do rio durante todo o período de monitoramento. Como é possível observar todo pico de concentração de sedimentos ocorrido era precedido de um pico de chuva, mostrando a influência que a incidência da chuva tem com o carreamento de sedimentos e conseqüente transporte do mesmo. Da mesma forma observou-se que os eventos que apresentam maiores valores médios de concentração de sedimentos correspondem aos de maiores precipitações pluviométricas. LOPES & SRINIVISAN (1981) concluíram que as chuvas com altas intensidades geralmente produzem escoamentos suficientes para causar erosão laminar, uma vez que tenham superado a capacidade de infiltração do solo.

No gráfico também é possível notar uma correlação positiva entre precipitação x vazão x e concentração de sedimentos suspensos. Esta correlação também foi verificada nos trabalhos de Belinasso (2002) e Ramon et. al. (2010). Branco (1998), por sua vez, afirma que isto se deve à elevada velocidade com que se dá o escoamento superficial, e os eventos que apresentam maior valor médio. Os autores também atribuem estes valores a pequena área de drenagem com a alta declividade, que geram altas vazões e respostas rápidas da concentração de sedimentos, que também podem ser observado neste estudo.

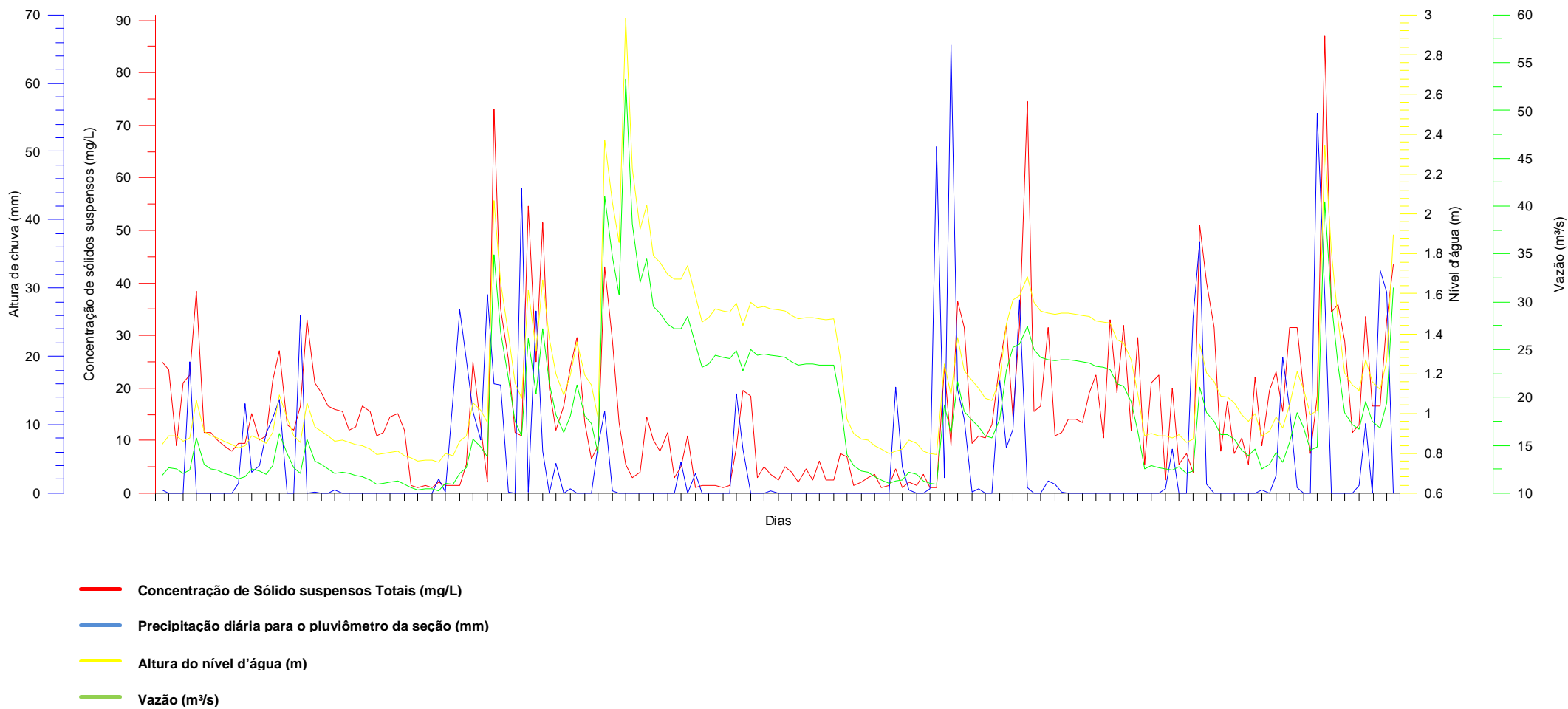


Figura 20: Gráfico com valores de chuvas diárias, nível d'água, concentração de sólidos suspensos totais e vazão para a seção em estudo durante o período de jan/13 à mar/13.

Quando analisada na seção à jusante da cidade de Santa Leopoldina a correlação entre os dados de vazão e carga total de sedimentos suspensos, que foram transportados em dias de chuvas, para qualquer um dos três pluviômetros estudados, observaram-se sempre correlações positivas (Figura 21).

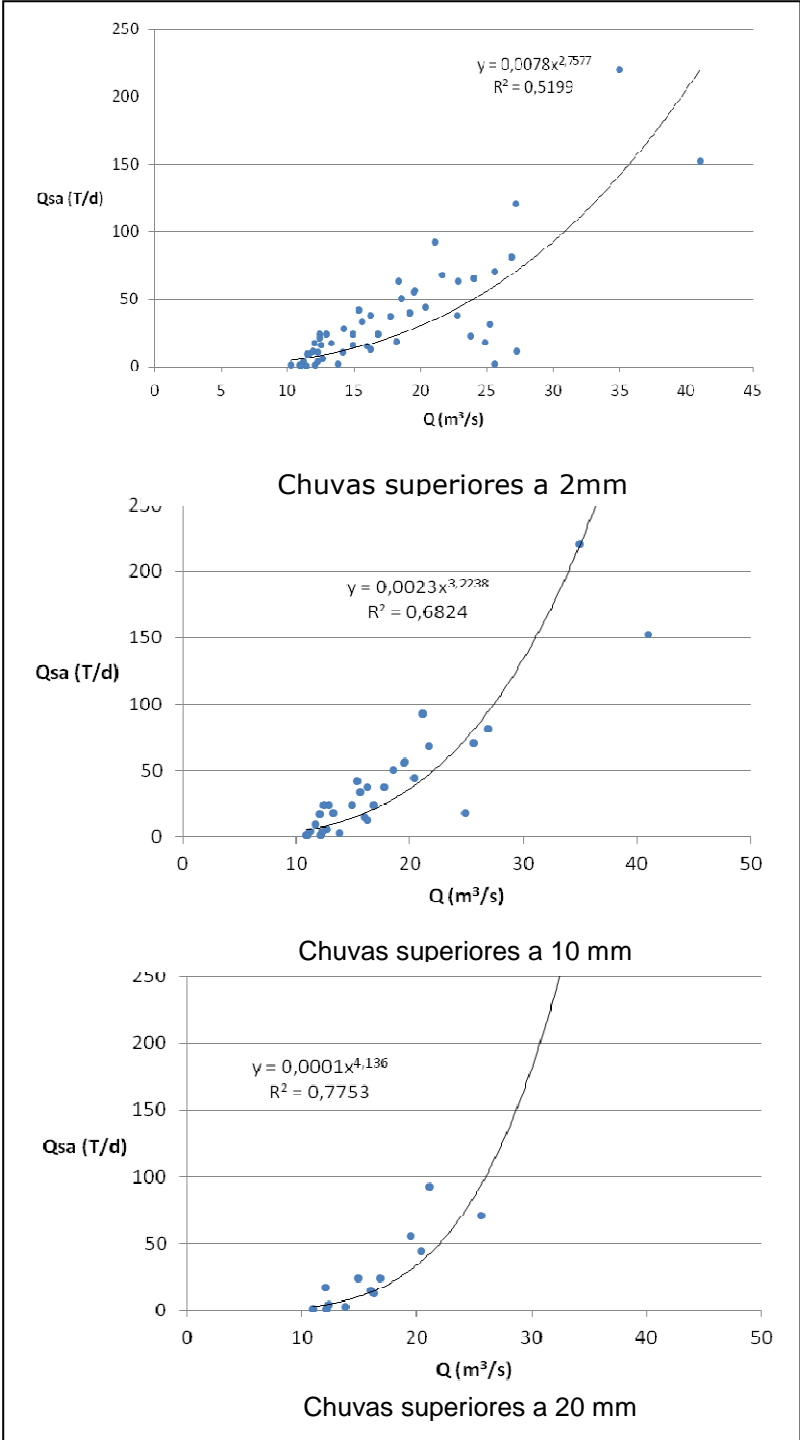


Figura 21: Correlação carga total (T/dia) de sedimentos suspensos transportados no dia e a vazão ( $m^3/s$ ) em dias de chuva para a seção em estudo. Durante todo o período de monitoramento com chuvas superiores à 2mm; Com chuvas de valores superiores a 10mm; Com chuvas superiores a 20mm.

A correlação encontrada entre a vazão e a carga total de sedimentos suspensos transportadas em dias de chuva com valores superiores à 2 mm foram boas ( $R^2 = 0,5199$ ). Essa correlação permaneceu alta para valores de chuvas superiores a 10 mm ( $R^2=0,6824$ ) e superiores a 20 mm ( $R^2 = 0,7753$ ). Isto também indica que a presença da barragem de Suiça não interfere diretamente no transporte do sedimento assim como sua retenção no barramento. A Figura 22 indica quatro áreas que limitam as áreas de drenagem entre os limites superiores bacia e a barragem de Rio Bonito, com área aproximada de 617 km<sup>2</sup> (1), a área de drenagem entre a barragem de Rio Bonito e Suiça com 277 km<sup>2</sup> de área aproximada (2), área de drenagem entre a barragem de Suiça e a seção a jusante da cidade de Santa Leopoldina com 125 km<sup>2</sup> (3) e área de drenagem após a seção a jusante da cidade de Santa Leopoldina com 895km<sup>2</sup> (4). Desta forma fica implícito que a área de drenagem compreendida entre a barragem de Rio Bonito e a seção a jusante da cidade de Santa Leopoldina, com aproximada de 402 km<sup>2</sup> (somatório das áreas 2 e 3 da figura 22), contribui com o carreamento de sedimentos para o rio.

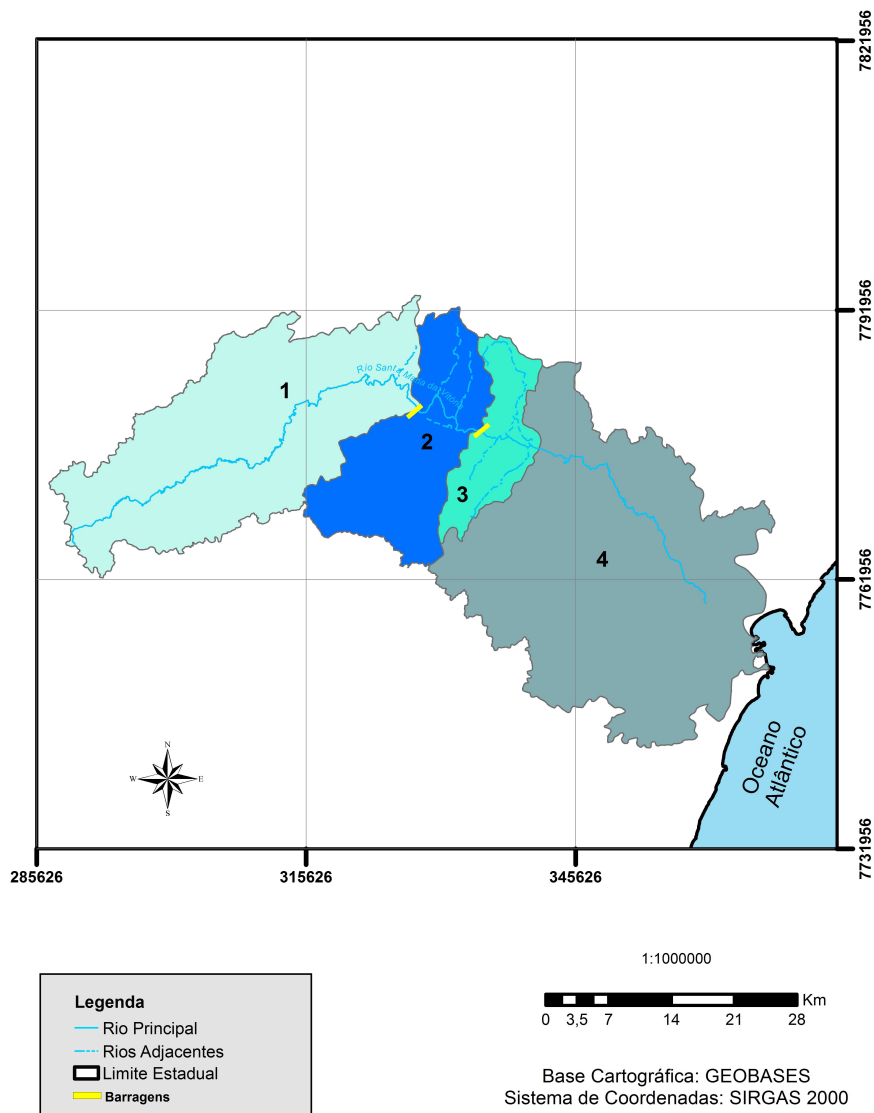


Figura 22: Bacia do Rio Santa Maria da Vitória com a divisão de áreas entre as barragens e a seção em estudo. **1.** Área de drenagem ente os limites superiores da bacia e a barragem de Rio Bonito = 617 km<sup>2</sup>; **2.** Área de drenagem entre a barragem de Rio Bonito e Suíça = 277 km<sup>2</sup>; **3.** Área de drenagem entre a barragem de Suíça e a seção a jusante da cidade de Santa Leopoldina = 125 km<sup>2</sup>; **4.** Área de drenagem após a seção a jusante da cidade de Santa Leopoldina = 895km<sup>2</sup>.

López-Tarazón et al. (2010) encontraram que o total da concentração de sedimentos está relacionado principalmente com o total de chuva de cada evento e que apenas uma pequena porção da energia fornecida por um evento chuvoso pode ser suficiente para o fornecimento e transporte de sedimentos em suspensão. Os autores encontraram também que a correlação entre o escoamento superficial, concentração de sedimentos e chuvas não são lineares, afirmando que as concentrações elevadas de sedimentos suspensos e cargas, podem ser geradas por qualquer ocorrência de chuvas de baixa ou alta intensidade.

Uma outra análise permitiu afirmar que se o solo apresenta-se molhado ou seco antes de um evento chuvoso, influi diretamente no escoamento superficial, porém não encontrando correlação entre intensidade das chuvas e o escoamento superficial. Também na bacia do rio Isábena, na Espanha, estes mesmos autores não encontraram correlação entre os picos de concentração de sedimentos suspensos com a variação das chuvas, sugerindo que outros fatores controlam a resposta de concentração de sedimentos suspensos.

Ran et. al. (2012), realizando experimentos de simulação de chuvas e escoamento superficial encontraram que a taxa de sedimentos escoados também varia de acordo com a duração do evento e também em relação a ocorrência de chuvas pretéritas. Mesmo com baixo volume e intensidade de chuva, quando o solo estava previamente molhado, o pico de sedimentos carreados era menor visto que ocorria mais infiltração da água. Já quando o solo estava mais seco o pico de sedimentos escoados era maior principalmente quando associados às chuvas intensas.

De forma análoga Medeiros et al. (2011) também associaram à concentração de sedimentos as taxas de pluviosidade. Para baixas taxas de chuvas foram observadas baixas concentrações de sedimentos, e já para períodos de maiores quantidades de chuvas foram observadas taxas três vezes maiores que a do período seco. Encontraram também dificuldade em estabelecer correlação significativa entre a vazão e a concentração de matéria em suspensão, sugerindo que as alterações hidrológicas oriundas do impacto das barragens sejam responsáveis pelo ocorrido.

A correlação da média das chuvas ocorridas na bacia, obtida pelas medidas nos três pluviômetros, com a quantidade de sedimentos suspensos transportados pela seção foi calculada em  $R^2=0,0125$  (Figura 23). Isto indica que a grande extensão da bacia, que no caso da seção em estudo apresenta uma área de drenagem aproximada de 1020 km<sup>2</sup> (Ver figura 22), interfere diretamente nas correlações entre os eventos e a quantidade de sedimentos.

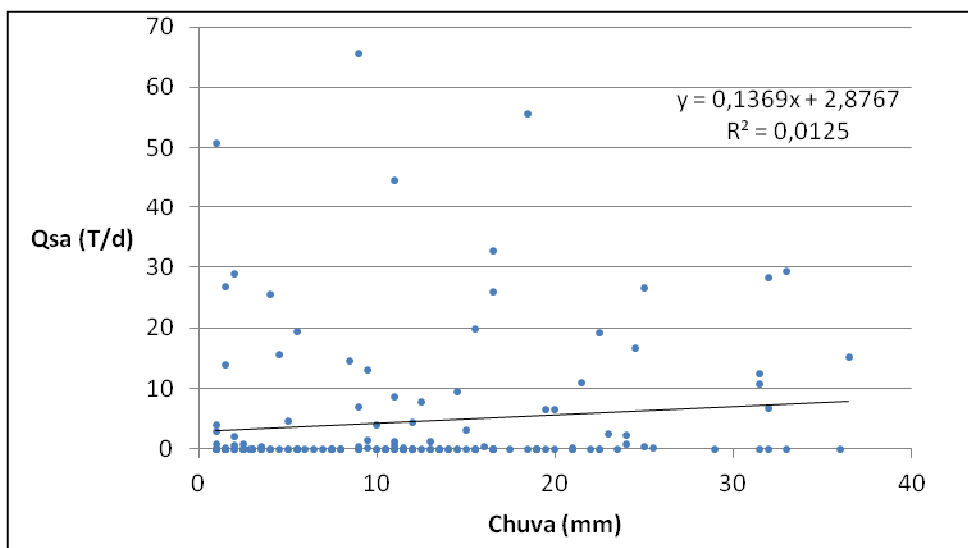


Figura 23: Correlação entre a quantidade de sedimento suspenso que passa pela seção em estudo e a média, dos três pluviômetros, da altura total acumulada de chuva no dia.

Desta forma este estudo também apresentou conformidade com o estudo de López-Tarazón et al. (2010), Ran et. al. (2012) e Medeiros et al. (2011), onde acredita-se que em bacias extensas o efeito das chuvas, intensas ou não, são de certa forma diluídos, importando primordialmente o total de chuva incidente, visto que em bacias menores estes efeitos são mais agudos, como encontrado por Feba et. al., (2006) e Cantalice, et al. (2010).

Lino et al. (2007), ao estudar quatro sub-bacias do Alto Rio Negro, encontraram valores baixos ( $R^2=0,569$ ;  $R^2=0,568$ ;  $R^2=0,014$  e  $R^2=0,093$ ), e ao juntar as sub-bacias verificaram um aumento da correlação  $R^2= 0,990$ . Isto demonstra que mesmo em condições semelhantes, ações antrópicas ou mesmo ambientais podem estar interferindo na disposição dos sedimentos na bacia como afirmam alguns autores. Ao relacionar a correlação vazão x sólidos suspensos das quatro sub bacias e a área das mesmas, verificou-se uma correlação  $R^2=0,820$ , demonstrando que quanto maior a área da bacia menor é a correlação entre a vazão e concentração dos sedimentos, assim como Wijdenes & Ergenzinger (1998) na bacia em Haute-Provence, na França.

Old, et. al. (2003) analisando precipitações na bacia de Bradford – Reino Unido observaram que a granulometria durante chuvas intensas de verão eram que aproximadamente 90% da granulometria era de grãos menores que  $63 \mu\text{m}$ . O aumento da vazão intensifica a velocidade de escoamento fluvial, possibilitando

maior capacidade de transporte e erosão das margens, incrementando dessa forma, o material particulado e dissolvido transportado.

## **5.2. Análise da disponibilidade de sedimentos por de curvas de histerese**

O comportamento da transferência de sedimentos e água na bacia foi realizado sob análise do efeito histerese que ocorre entre a vazão e a concentração de sedimentos em suspensão. A histerese entre essas duas variáveis possibilita a interpretação dos processos de infiltração, escoamento e da dinâmica dos sedimentos na bacia. Foram monitorados 16 eventos, mas, devido à quantificação das amostras, conforme descrito na metodologia, selecionamos os eventos em que a quantidade de amostras coletadas fossem superiores a três, totalizando 6 eventos com esse número de amostras: 17/01-50,8mm, 19/01-65,5mm, 27/01-16,7mm, 01/03-36,9mm, 19/03-28,9mm e 29/03-29,4mm, a seguir representados em curvas de histerese e gráficos de vazão x tempo x concentração de sedimentos suspensos. Os seis eventos apresentam superiores a 16,7 mm.

Na figura 24 é observado um desenho com uma curva histerese no sentido anti-horário, se referindo há um evento de alta precipitação com valores altos de concentração de sedimentos. De acordo com a literatura o pico de  $C_{ss}$  ocorre depois do pico da vazão, acontece devido à incorporação de áreas que não estão constantemente conectadas a rede canais como as áreas de deposição de sedimentos não consolidada de eventos antigos, deste modo, estas áreas irão se conectar aos canais de drenagem quando o escoamento for gerado por toda bacia hidrográfica (SEEGER et al., 2004). Todavia isso ocorre quando há umidade do solo extremamente alta, ocorrendo os escoamentos das áreas saturadas (LENZI & LORENZO, 2000; GOODWIN et al., 2003; ORWING & SMART, 2004).

Entretanto esta condição não é observada nos gráficos correspondentes a este evento, onde o pico de concentração de sólidos suspensos ocorre quase ao mesmo tempo em que o pico de vazão. Observa-se também uma queda brusca na concentração de sólidos suspensos, que pode ser explicado por um reduzido estoque de sedimentos na calha associado a um aumento ou manutenção da vazão.



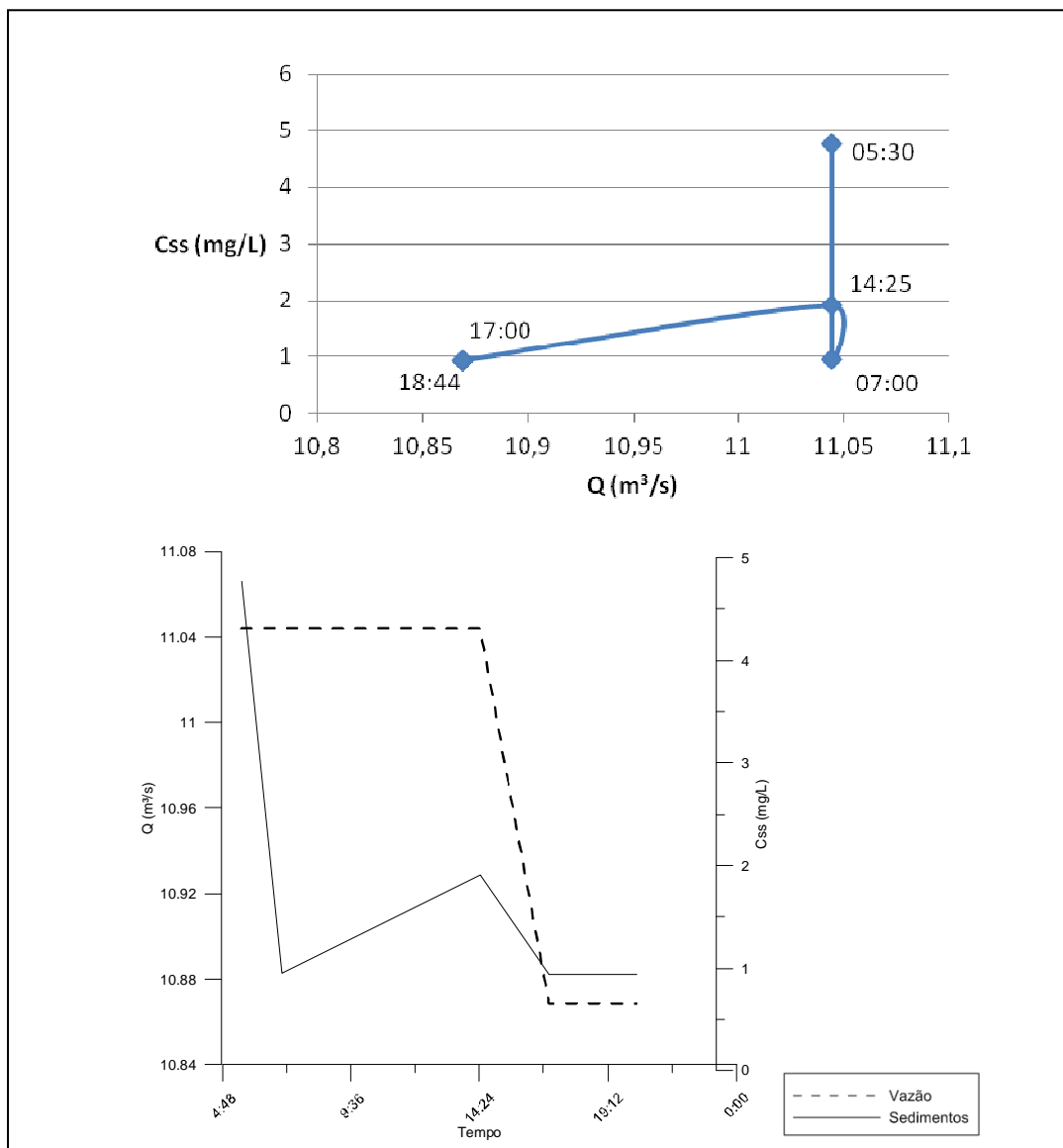


Figura 24: Gráfico de histerese do evento do dia 17/01 com total de chuva de 50,8 mm; gráfico de concentração de sedimentos suspensos x vazão x tempo para o evento.

Para Seeger et al., (2004) a principal diferença entre a curva no sentido horário e anti-horário é que no primeiro caso a curva é gerada pela alta umidade do solo, mas espacialmente limitada, já o sentido anti-horário é gerado quando o solo está próximo à saturação em toda área da bacia consequentemente as áreas de contribuição de sedimentos são estendidas. Esse mesmo autor afirma que a maioria dos eventos anti-horários pode ser explicada pelo maior volume precipitado e pela condição de umidade antecedente ao evento devido a eventos anteriores que favoreceram o aumento da umidade do solo. Isto pode ser observado na figura 24, onde o evento apresentou grande volume de chuva.

Na figura 25 não fica claro o sentido da curva neste evento onde foram registradas altas concentrações de sedimentos, porém, seguindo o caminhamento da mesma

nota-se uma tendência ao sentido horário. Esse tipo de curva ocorre quando os sedimentos são mobilizados, transportados e depositados rapidamente. Neste caso, acredita-se que a fonte principal de sedimentos está localizada na calha fluvial e são exauridos com a evolução do evento (KLEIN, 1984; LEFRANCOIS et al., 2007). Isto pode ser observado no gráfico vazão x tempo x concentração de sedimentos suspensos onde nota-se um aumento contínuo da concentração e sedimentos com o aumento da vazão.

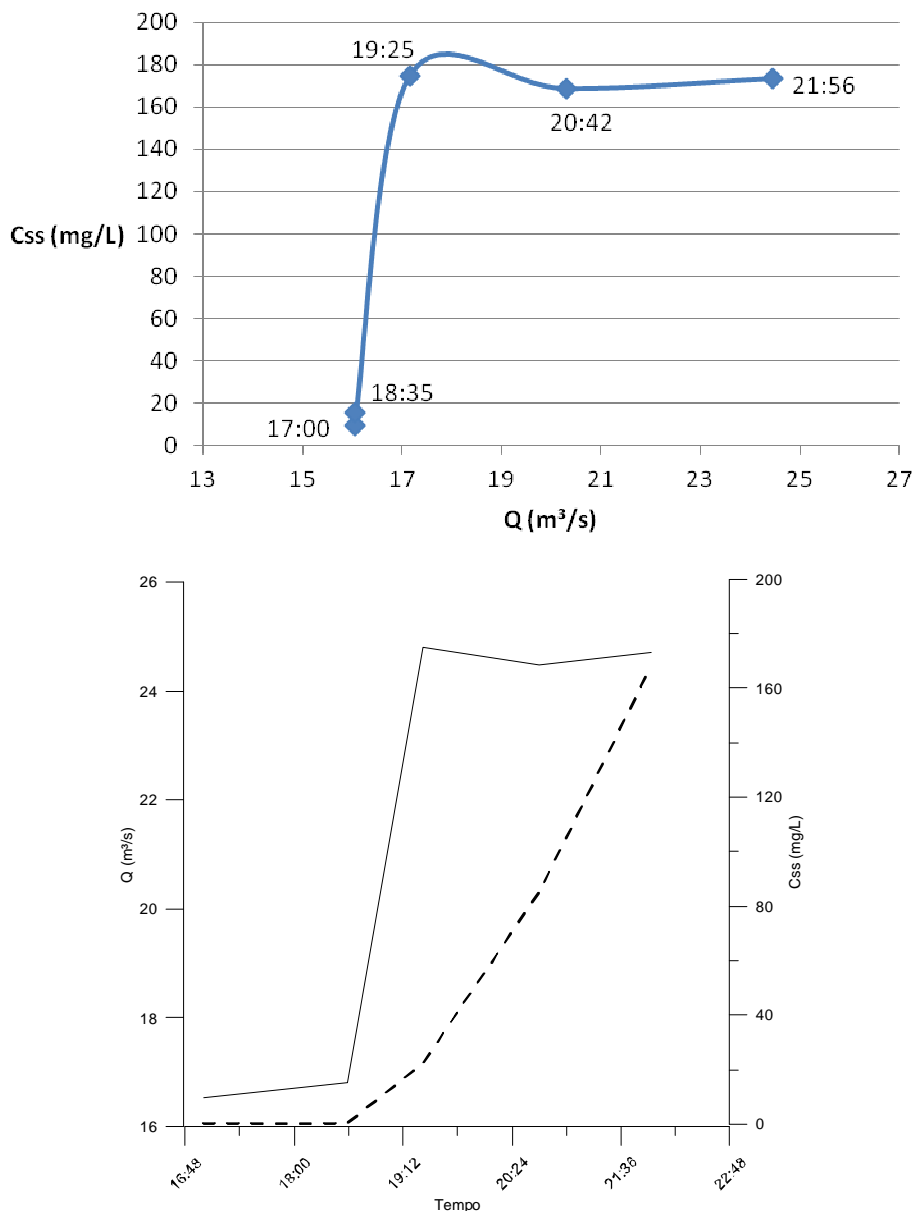


Figura 25: Gráfico de histerese do evento do dia 19/01 com total de chuva de 65 mm; gráfico de concentração de sedimentos suspensos x vazão x tempo para o evento.

Segundo Williams (1989), a ausência de um grande suprimento de sedimentos é, normalmente, a principal causa da ocorrência de efeito histerese de sentido horário

em pequenas bacias. No nosso estudo o pico de sedimentos adiantado em relação ao de vazão provavelmente esteja relacionado às características geomorfológicas do trecho que questão, que apresenta grandes declividades além de diversidade de cobertura do solo, desde áreas urbanas até agricultura familiar em pequenas propriedades.

Na figura 26 também não fica bem definido o sentido da curva neste evento onde foram registradas altas concentrações de sedimentos, porém, de forma análoga a figura anterior nota-se uma tendência ao sentido horário.

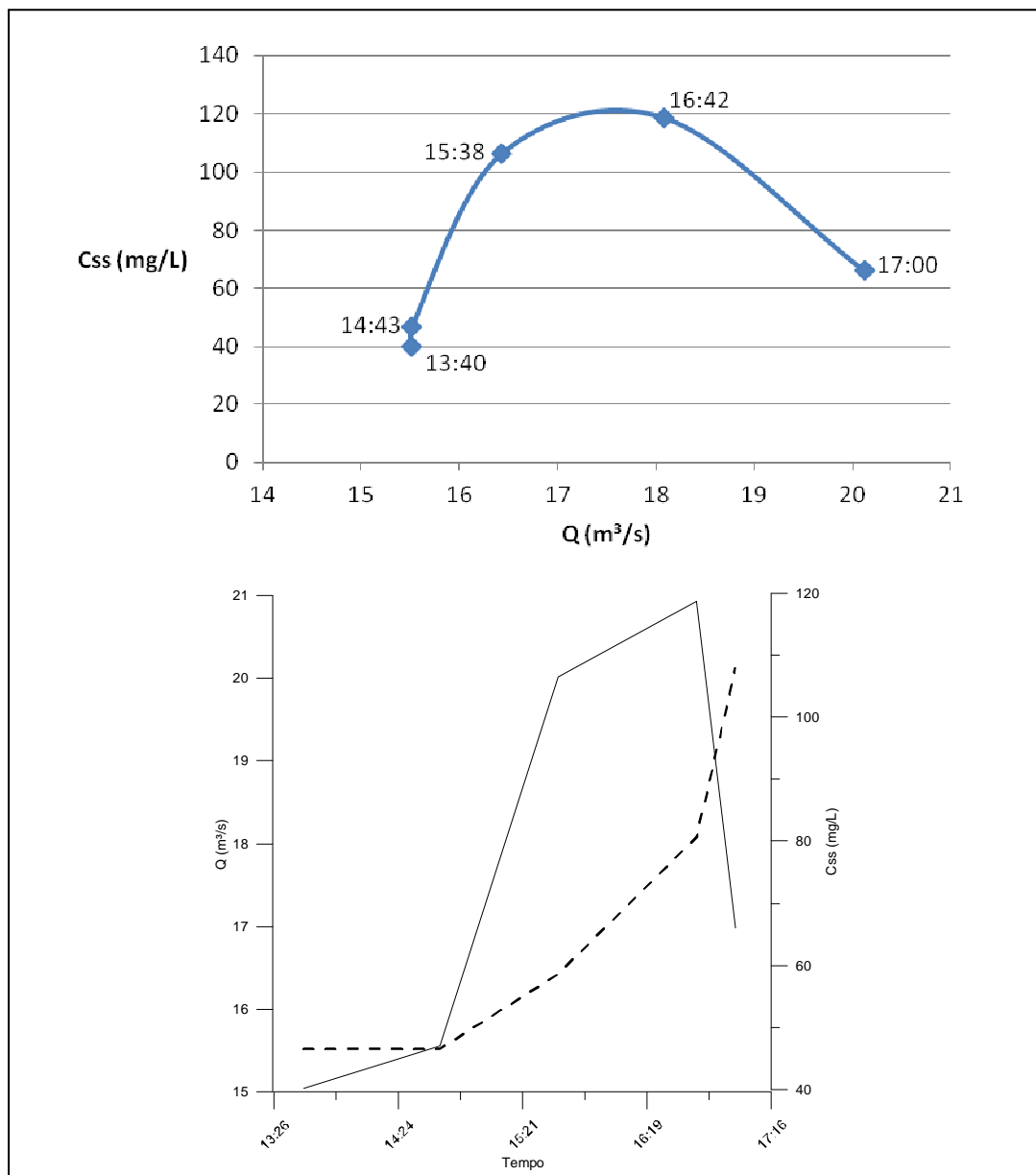


Figura 26: Gráfico de histerese do evento do dia 27/01 com total de chuva de 16,7 mm; gráfico de concentração de sedimentos suspensos x vazão x tempo para o evento.

Também é possível observar uma rápida redução da  $C_{ss}$  no ramo descendente da curva, onde novamente podemos associar ao reduzido estoque de sedimentos na calha.

Na figura 27 fica ainda menos preciso observar o sentido das curvas de histerese para este evento onde foram registradas baixas concentrações de sedimentos. Essa difícil análise se deve provavelmente ao baixo número de amostras coletadas durante o evento ou mesmo sua duração, sendo esta uma deficiência na metodologia utilizada, indicando a necessidade de um número maior número de amostras para melhor avaliar o evento. Entretanto, uma análise no gráfico de concentração de sedimentos suspensos x vazão x tempo indica na figura 27 uma queda no valor das concentrações de sedimentos suspensos durante um aumento da vazão. Este não é um padrão observado com frequência nas análises de histerese encontradas na literatura. Porém podemos inferir a tal situação uma disponibilidade imediata de sedimentos, que foi removida em um primeiro momento, com o aumento da vazão como observado no gráfico, e em seguida, com a continuidade da chuva, ocorre o aumento da vazão sem o mesmo aumento da concentração de sedimento devido a sua não disponibilidade.

Esse sedimento pode ter sido disponibilizado por fontes pontuais como pequenos trechos de estradas não pavimentadas conforme analisado por Minella (2007), que encontrou que 29,0% do sedimento produzido na bacia são provenientes das estradas. Somados a isso, as características da morfologia da bacia como o relevo acidentado e vertente curtas, contribuem no escoamento superficial aumentado a sua velocidade, bem como a proximidade dos sedimentos das lavouras e estradas até o canal.

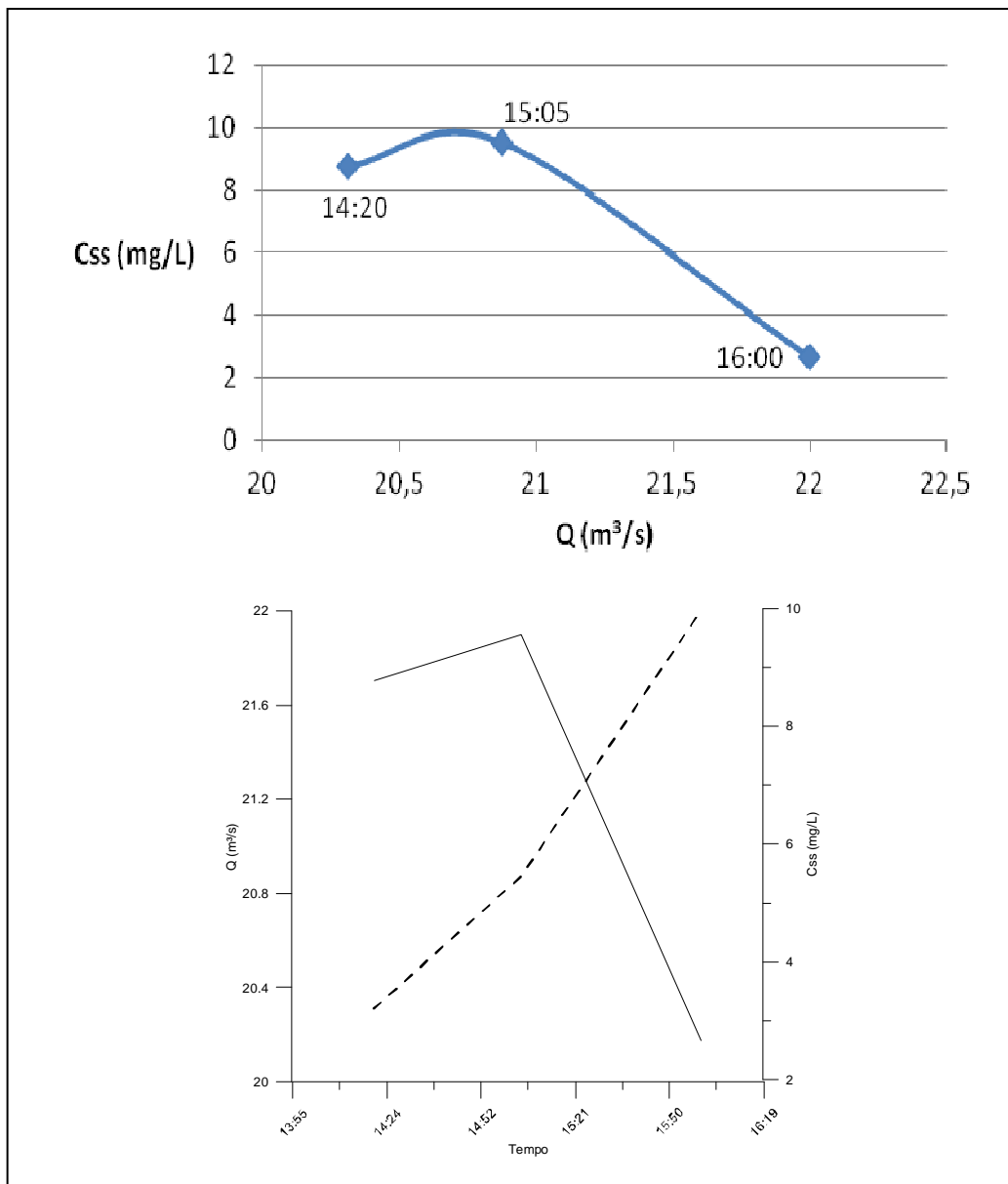


Figura 27: Gráfico de histerese do evento do dia 01/03 com total de chuva de 35,9 mm; gráfico de concentração de sedimentos suspensos x vazão x tempo para o evento.

Na figura 28, assim como na figura 27, não podemos inferir sentido a curva. Porém quando analisamos o gráfico da concentração de sedimentos suspensos x vazão x tempo observa-se um padrão de diminuição da concentração de sedimentos com o também declínio da curva de vazão.

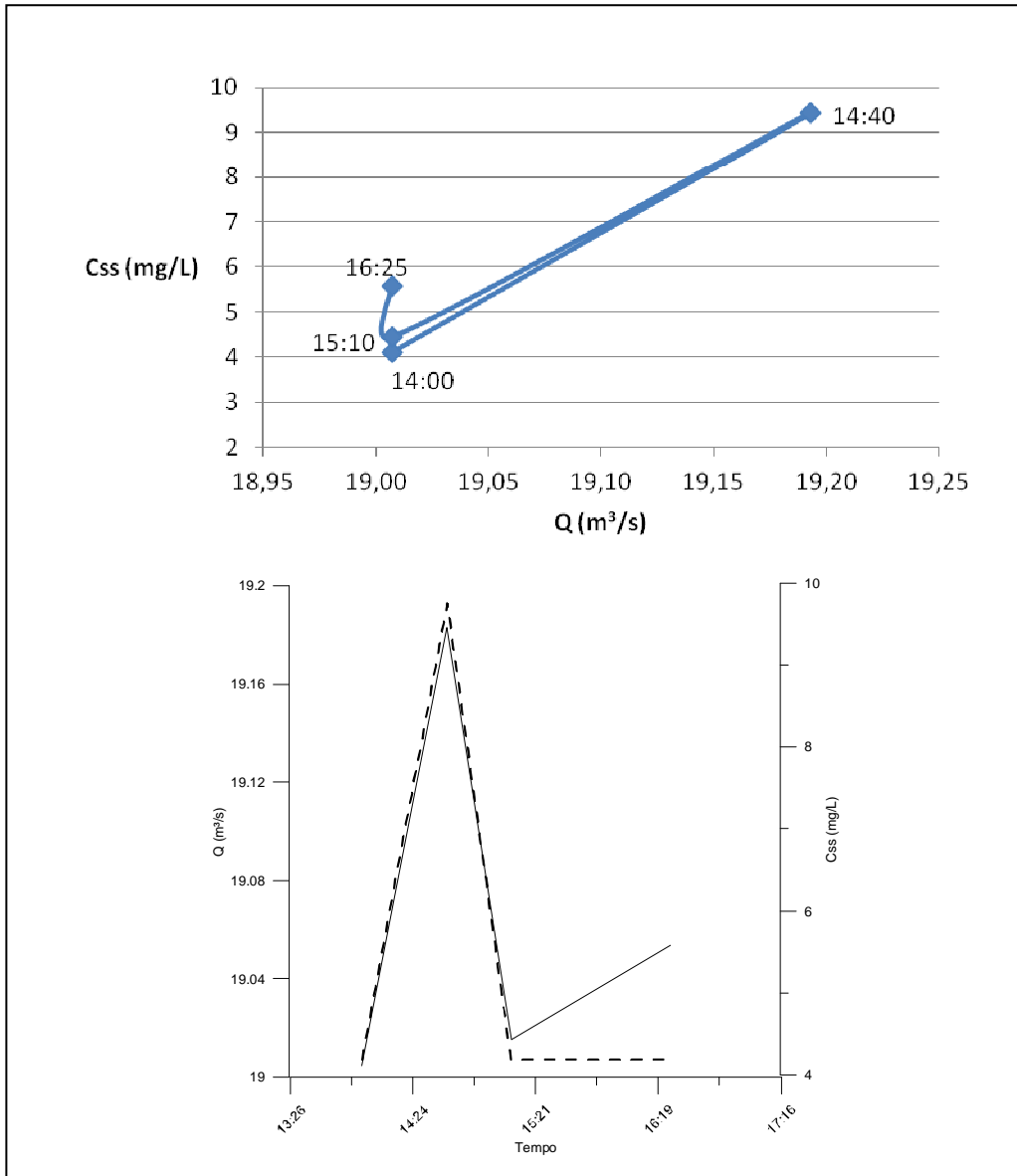


Figura 28: Gráfico de histerese do evento do dia 29/03 com total de chuva de 29,4 mm; gráfico de concentração de sedimentos suspensos x vazão x tempo para o evento.

Levando em consideração que os processos que determinam a distribuição da  $C_{ss}$  variam de acordo com os processos erosivos, os valores da  $C_{ss}$  na fase de ascensão do hidrograma são diferentes dos valores para a mesma vazão, durante a recessão. Entretanto uma das dificuldades encontradas na modelagem é a reprodução da relação entre a vazão ( $Q$ ) e da concentração de sedimentos em suspensão ( $C_{ss}$ ) que contribui para explicar a dinâmica dos processos na bacia hidrográfica. Essa relação é complexa, pois os picos de  $Q$  e  $C_{ss}$  não são coincidentes, tampouco as taxas de ascensão e decréscimo (WALLING, 1999; MINELLA et al., 2007, OTTONELLI et al., 2010).

Na figura 29, do evento do dia 19/03 é possível notar o desenho da figura tipo “oito”. De acordo com Willians (1989) a classe que apresenta em formato de oito ocorre, pois os picos estão se aproximando, entretanto, é o pico da  $C_{ss}$  que é alcançado primeiro produzindo uma curva horária, o que também pode ser confirmado pelo gráfico vazão x concentração x tempo. De acordo com Lefrançois et al., (2007) essa classe é interpretada pela mobilização e transporte de sedimentos cuja disponibilidade não está restrita nem na subida e descida da curva.

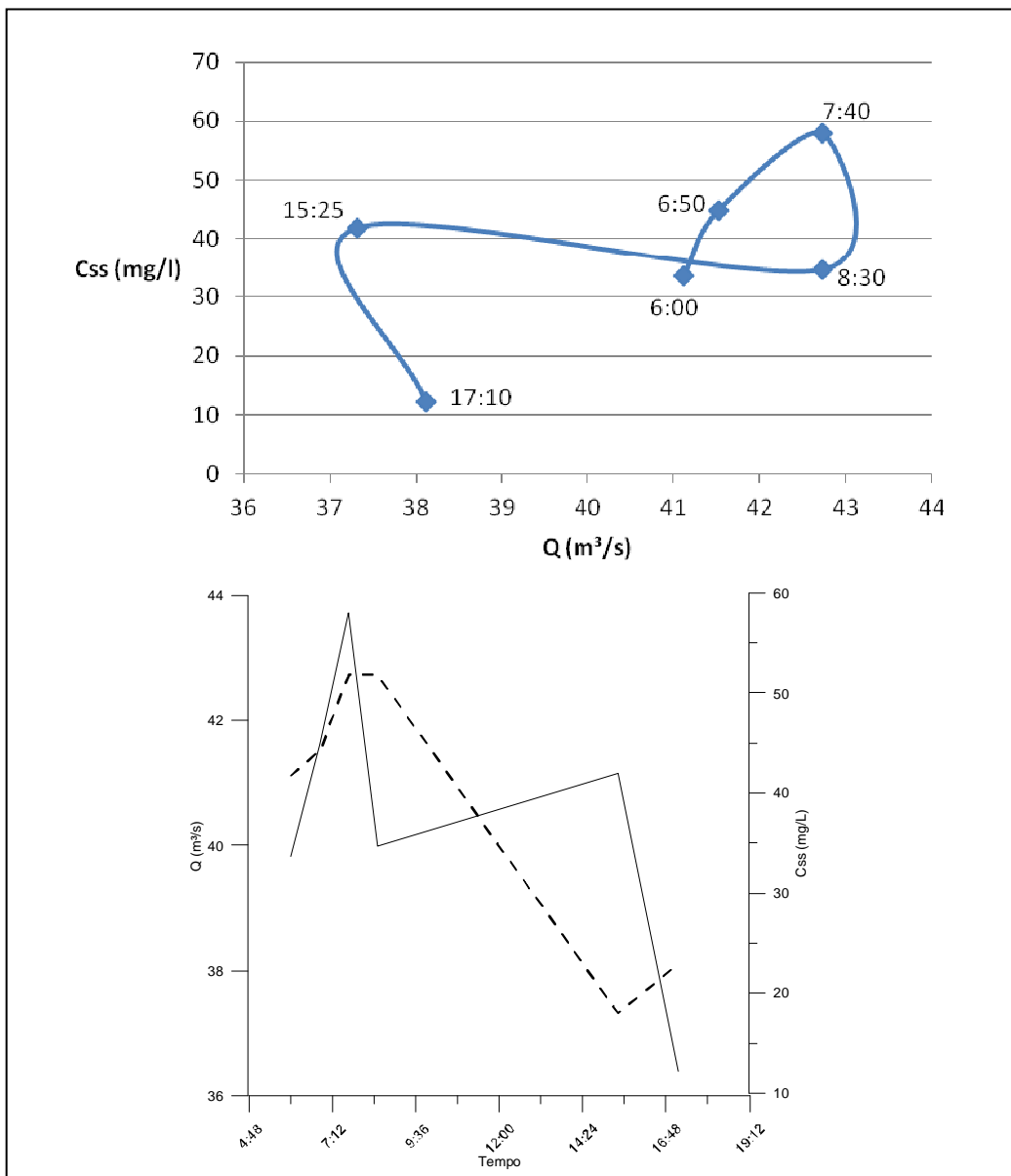


Figura 29: Gráfico de histerese do evento do dia 19/03 com total de chuva de 28,9 mm; gráfico de concentração de sedimentos suspensos x vazão x tempo para o evento.

Isso significa que após a ocorrência do pico da  $C_{ss}$  a disponibilidade e o transporte de sedimentos são suficientemente elevados fazendo com que a  $C_{ss}$  decresça lentamente com o tempo enquanto a  $Q$  decresce mais rapidamente ou, em outras palavras, o declive do ramo descendente da  $Q$  é mais acentuado que o ramo descendente da  $C_{ss}$ .

Já Minella et al., (2011) encontraram resultados de figura em oito, ou seja, o pico dos sedimentos ocorreu depois da vazão indicando que novas fontes de sedimentos foram contribuindo para o fornecimento de sedimentos.

Leli (2010) encontraram em seu estudo, a maioria de curvas de histerese no sentido anti-horário, afirmando também que as curvas influenciadas pelo tamanho e forma da bacia hidrográfica sendo que em bacias menores e mais alongadas há maior tendência do pico da  $C_{ss}$  anteceder o pico da vazão.

Neste estudo o sentido horário da histerese ocorreu em dois dos seis eventos medidos; apenas um evento apresentou formato de sentido anti-horário e um evento formato do tipo oito. Acredita-se desta forma que os principais fatores controladores do sentido do laço de histerese neste estudo foram as características físicas da bacia, assim como a proximidade das fontes de sedimentos com a rede de drenagem, tipo do uso e manejo do solo, que é predominante o de agricultura. Entretanto os eventos apresentaram grande variabilidade nos sentidos das curvas, predominando, porém, o pico de sedimentos antecedendo o pico de vazão, ou seja, uma disponibilidade de sedimentos imediatos, provavelmente dispostos na própria calha do rio.

### **5.3. Análise da granulometria**

#### **5.3.1. Material de fundo**

O material de fundo predominante era composto por areia grossa, nas campanhas de junho, setembro, outubro, novembro e 13 de janeiro representando, respectivamente, 26,23%, 42,58%, 34,91%, 44,76% e 37,57%, e predominância de areia muito grossa na campanha de 04 de janeiro com 37,32%. Os dados completos



estão descritos na Tabela 06 são referentes à seção à jusante da cidade de Santa Leopoldina.

Tabela 06. Descrição da granulometria dos sedimentos de fundo predominantes em cada campanha. A porcentagem total da amostra se refere aos grãos de diâmetro superior à areia média (Dados referentes a Seção à jusante da cidade de Santa Leopoldina).

Campanhas	Areia média	Areia grossa	Areia muito Grossa	Cascalho muito fino	Porcentagem total da amostra
27/09/2012	25,41%	42,58%	18,99%	8,54%	95,52%
12/10/2012	31,30%	34,91%	18,03%	8,47%	92,71%
15/11/2012	23,42%	44,76%	23,81%	6,16%	98,15%
04/01/2013	7,71%	24,91%	37,32%	23,96%	93,90%
13/01/2013	17,95%	37,57%	33,12%	8,81%	97,45%

Ao comparar os dados da Tabela 07, observa-se que na campanha de 15/11 onde a velocidade média encontrada foi de 0,581 m/s e vazão de 15,37 m<sup>3</sup>/s, resultando em uma porcentagem total de sedimentos grossos alta, 98,15%.

Tabela 07: Demonstrativo das velocidades médias durante as campanhas, % de sedimentos referentes ao somatório das porcentagens de grãos de granulometria superior a areia média, em relação ao total da amostra coletada em campo, chuvas ocorridas no dia anterior a campanha e no dia da campanha e total de chuva no mês (Dados referentes a Seção à jusante da cidade de Santa Leopoldina).

Data da coleta	Vm (m/s)	% de sedimentos *	Chuva (mm) no dia anterior a coleta	Chuva (mm) no dia da coleta	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
27/09/2012	0,537	95,52%	19,2	0	10,68
12/10/2012	0,444	92,71%	0	26	6,67
15/11/2012	0,581	98,15%	0,1	26,6	15,37
04/01/2013	0,492	93,90%	0	0	6,65
13/01/2013	0,514	97,45%	3,9	0,5	7,42

As análises das porcentagens totais da granulometria em cada campanha confirmam que as chuvas associadas às altas velocidades do fluxo de escoamento influenciam diretamente na energia de carreamento dos sedimentos de fundo. Assim, a grande competência do rio nesta seção corrobora a idéia de que a localização da seção após uma queda d'água, assim como a declividade do trecho que antecede a seção, mesmo com a presença de dois barramentos a montante, faz

com que todo sedimento existente no trecho entre a barragem de Suíça e a seção à jusante da cidade de Santa Leopoldina, seja detectado nas coletas, caracterizando a seção como um grande ponto de passagem dos sedimentos.

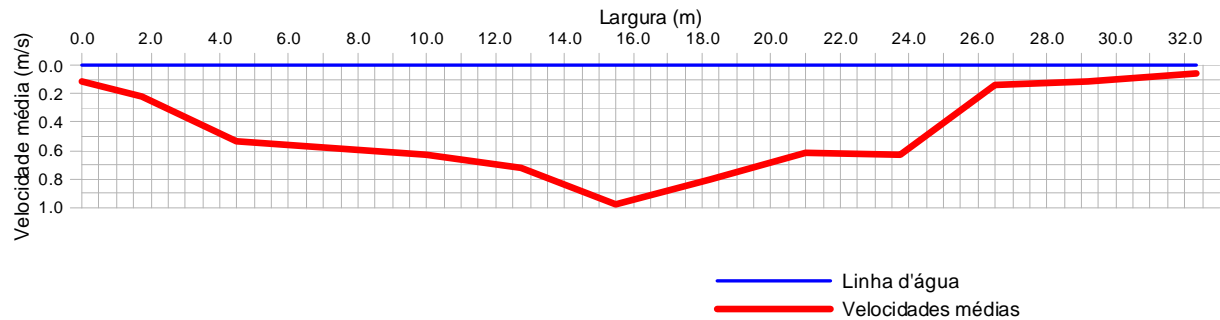
Também foram analisadas separadamente cada um dos três pontos de coleta nesta seção (um próximo à margem direita, um próximo à margem esquerda e um na região central) buscando avaliar a evolução e características granulométricas dos sedimentos e podemos assim traçar um perfil de deposição e transporte dos mesmos, associados às velocidades médias da seção. Como observado na tabela 08 a granulometria predominante foi a de grãos superiores a areias médias. É possível notar também um predomínio de grãos maiores no ponto central da seção. Entretanto percebe-se também uma alta porcentagem de sedimentos superiores à areias grossa presentes nas margens, caracterizando a seção com um alta competência de transporte de sedimentos. Isto também fica evidenciado pela baixa presença de sedimentos finos, inferiores a areias finas.

Tabela 08: Detalhamento da granulometria das partículas de fundo para cada um dos três pontos amostrados na seção em cada uma das campanhas. \* O último ponto não foi coletado nesta ocasião devido a problemas operacionais durante a campanha.

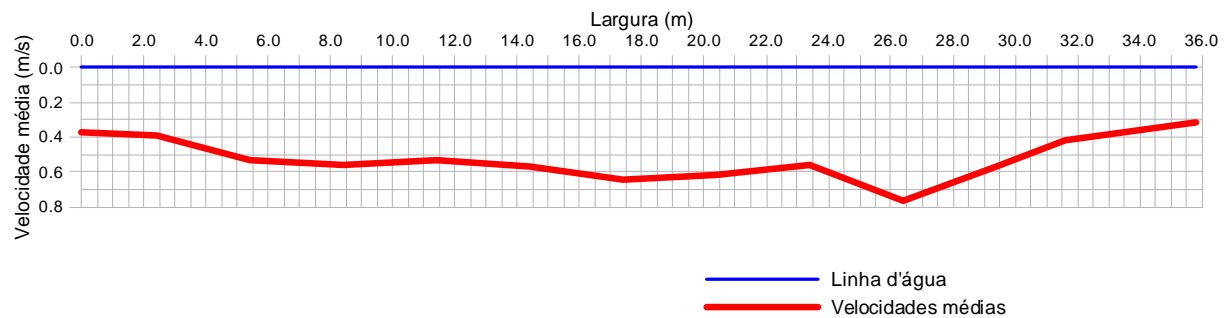
Data dos Campos	Descrição dos pontos	Cascalho Médio (8 > 8mm)	Cascalho fino (8 a 4 mm)	Cascalho muito fino (4 a 2 mm)	Areia muito grossa (2 a 1 mm)	Areia grossa (1 a 0,5 mm)	Areia média (0,5 a -0,25 mm)	Areia fina (0,25 a 0,125 mm)	Areia muito fina (0,125 a 0,062 mm)	Finos (0,062 > mm)
27/09/12	Ponto próximo à margem direita	0,00%	0,00%	0,10%	6,50%	41,49%	47,77%	3,74%	0,33%	0,05%
	Ponto mediano da seção	0,00%	6,66%	23,59%	28,99%	25,25%	14,91%	0,52%	0,04%	0,02%
	Ponto próximo à margem esquerda	0,00%	0,00%	1,51%	21,14%	61,43%	13,98%	1,00%	0,58%	0,34%
12/10/12	Ponto próximo à margem direita	0,00%	0,00%	0,97%	8,76%	40,31%	44,75%	3,96%	0,96%	0,27%
	Ponto mediano da seção	0,00%	8,57%	16,00%	27,35%	29,29%	17,78%	0,76%	0,01%	0,02%
	Ponto próximo à margem esquerda	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15/11/12	Ponto próximo à margem direita	0,00%	0,82%	9,55%	30,49%	33,53%	23,26%	2,21%	0,07%	0,05%
	Ponto mediano da seção	0,00%	0,27%	4,03%	16,96%	54,10%	23,98%	0,59%	0,06%	0,01%
	Ponto próximo à margem esquerda	0,00%	0,88%	4,92%	24,01%	46,61%	23,03%	0,48%	0,03%	0,01%
04/01/13	Ponto próximo à margem direita	0,00%	0,00%	7,89%	45,83%	41,10%	5,15%	0,02%	0,00%	0,00%
	Ponto mediano da seção	0,00%	2,73%	25,80%	34,09%	23,42%	13,23%	0,69%	0,02%	0,01%
	Ponto próximo à margem esquerda	0,00%	12,48%	35,05%	33,21%	13,46%	5,42%	0,36%	0,02%	0,00%
13/01/13	Ponto próximo à margem direita	0,00%	0,20%	8,63%	45,64%	40,22%	5,26%	0,05%	0,00%	0,00%
	Ponto mediano da seção	0,00%	3,00%	13,62%	23,27%	24,35%	32,08%	3,59%	0,06%	0,01%
	Ponto próximo à margem esquerda	0,00%	0,00%	4,21%	30,26%	48,06%	16,70%	0,64%	0,09%	0,01%

Estas distribuições granulométricas podem estar associadas a distribuição das velocidades ao longo das campanhas conforme os perfis representados na figura 30. Estes perfis indicam variações em cada campanha, aumentando o indício de que esses perfis estão relacionados provavelmente a ocorrência de chuvas intensas nos dias anteriores.

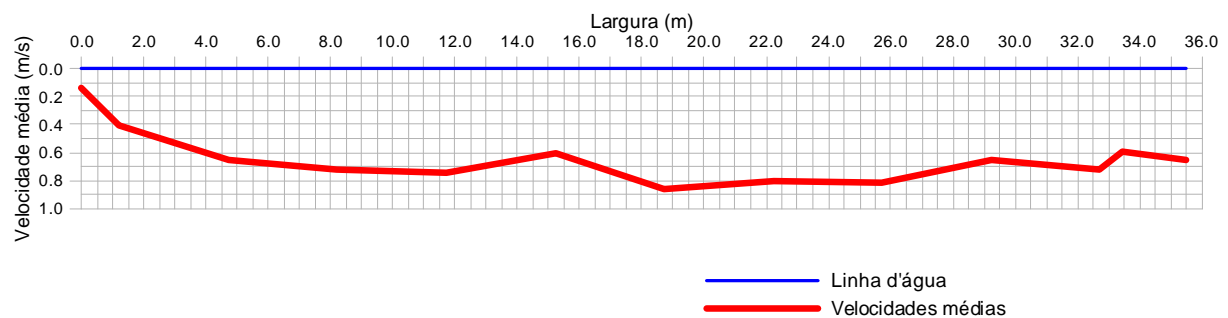
**PERFIL DA VELOCIDADE MÉDIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL  
ESTAÇÃO SUÍÇA - SETEMBRO DE 2012**



**PERFIL DA VELOCIDADE MÉDIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL  
ESTAÇÃO SUÍÇA - OUTUBRO DE 2012**



**PERFIL DA VELOCIDADE MÉDIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL  
ESTAÇÃO SUÍÇA - NOVEMBRO DE 2012**



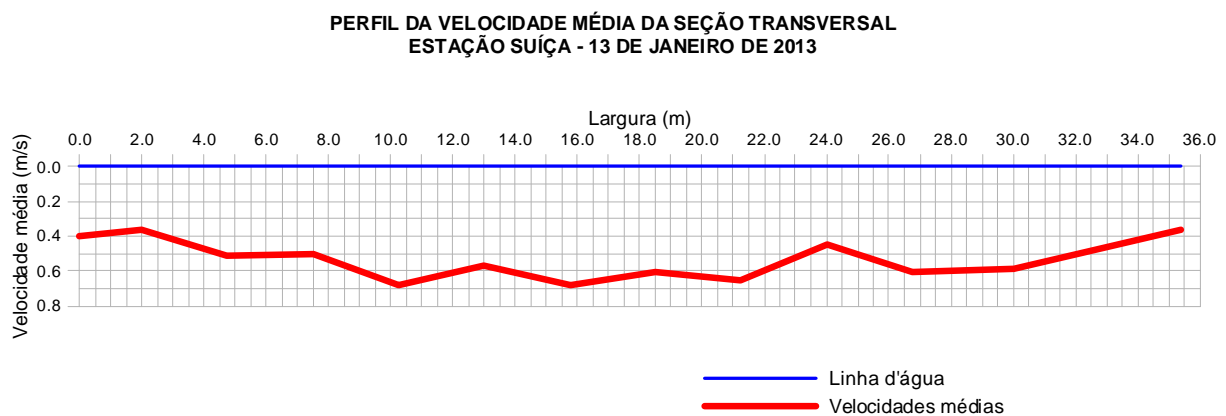
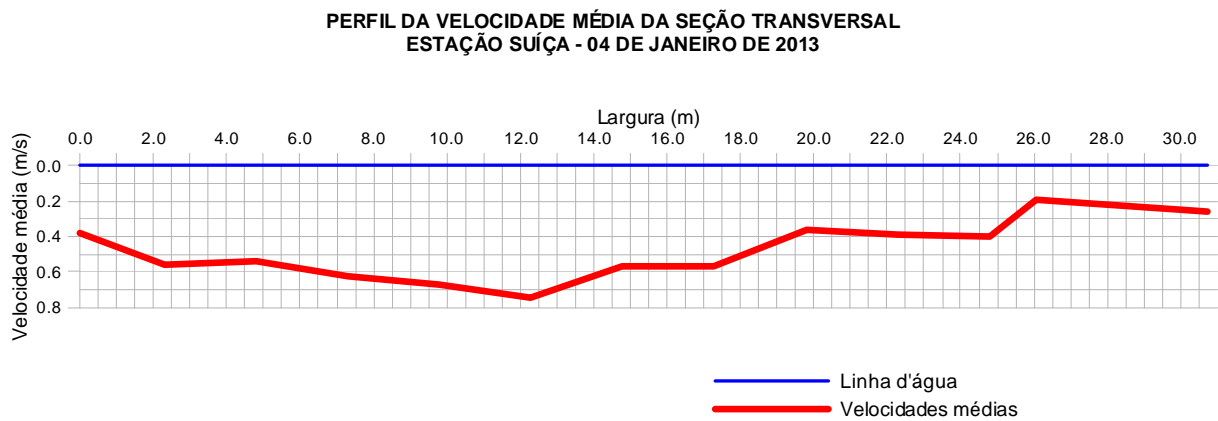


Figura 30: Esquema como perfil da seção em estudo para as campanhas na seção a jusante da cidade de Santa Leopoldina.

Nas campanhas de 27/09 e 12/10, com respectivamente 19,2 e 26 mm, apontam como a possível causa das altas porcentagens de grãos maiores. Vale ressaltar que durante as 6hs que permanecemos em campo no dia 12/10 choveu o total 26 mm, corroborando a influência das chuvas de grandes volumes e consequente velocidade de corrente para as características da composição de fundo.

Muerer et. al. (2011) encontraram para o rio Ivaí no Paraná grãos de diâmetro superior a 1000  $\mu\text{m}$ , e em grandes cheias os diâmetros transportados chegaram a 5000  $\mu\text{m}$ . Os autores atribuem estes diâmetros de grãos as altas declividades da bacia junto com as altas vazões no período de cheias. Estes grãos de diâmetros maiores são também atribuídos à contribuição dos afluentes de maior competência do Ivaí. Também relatam que a parte do rio que apresenta diâmetro menor de grãos se deve a retenção do material grosso pela vegetação ou por enriquecimento de grãos mais finos devido as menores declividades e consequência redução da competência de transporte.

Analisando separadamente as campanhas realizadas nas seções de monitoramento à Montante e Jusante da UHE Suíça (Tabela 09), é possível notar um aumento na porcentagem de areia média e uma redução significativa de areia muito grossa e cascalho muito fino presente na seção à Montante do reservatório da usina de Suíça e à Jusante. Isto demonstra a capacidade de retenção de grãos de maior diâmetro como areia muito grossa e cascalho no reservatório de Suíça.

Tabela 09: Descrição da granulometria dos sedimentos de fundo predominantes em cada campanha. Referente à Seção de monitoramento Jusante e Montante da UHE Suíça.

Seção	Campanhas	Areia média	Areia grossa	Areia muito Grossa	Cascalho muito fino
Montante UHE	22/08/2012	29,04%	28,23%	23,58%	11,25%
	23/08/2012	17,64%	33,64%	28,54%	12,59%
Jusante UHE	22/08/2012	68,3%	16,74%	1,19%	0,19%
	23/08/2012	60,1%	16,81%	1,14%	0,19%

Hartmann, et al. (2010) relataram que os barramentos existentes à montante da seção em estudo, na bacia do rio Jacuí, no Rio Grande do Sul, alteram frequentemente a hidrodinâmica com aumento da velocidade do fluxo e suas cotas de enchente (vazões). Para os autores estas alterações de regime do fluxo de um rio, em presença de margens arenosas, são sempre causas determinantes da incidência de processos erosivos superficiais, causando instabilidade às suas margens.

### 5.3.2. Material em suspensão

Em relação à granulometria do material em suspensão, conforme classificação da American Geophysical Union, coletado na seção à jusante da cidade de Santa Leopoldina apresentou predominância de silte em quase todas as campanhas, sendo que os grãos finos e médios foram observados com predominância nas campanhas realizadas até 04/01; os sedimentos grossos foram os que apresentaram maior porcentagem na campanha do dia 13/01 representado na Tabela 10.

Tabela 10. Descrição da granulometria dos sedimentos em suspensão predominantes em cada campanha.

Campanhas	Silte fino	Silte médio	Areia muito fina	Areia fina	Areia média	Areia grossa
27/09/2012	24,87%	67,58%	5,86%	0,009%	0,002%	0,001%
12/10/2012	14,71%	82,93%	1,61%	0,14%	0,017%	0,003%
15/11/2012	9,60%	49,39%	1,00%	0,334%	37,68%	1,98%
04/01/2013	11,56%	38,99%	16,81%	14,29%	11,76%	6,59%
13/01/2013	1,23%	24,72%	48,06%	4,19%	0,51%	0,09%

As campanhas de 15 de novembro e 4 de janeiro apresentaram grandes incidências de areias finas, grossas e médias. Desta forma fica caracterizado que o trecho em estudo apresenta competência para o carreamento de sedimentos, assim como na coleta de sedimentos de fundo, a grande competência do rio nesta seção.

O tamanho do grão do sedimento em suspensão é uma das importantes propriedades do sedimento fluvial e tem influência nos processos de sedimentação, no gasto energético relacionado ao seu transporte e na formação das calhas dos rios (Xu, 2002).

No sentido longitudinal do curso d'água, observa-se geralmente uma maior produção de sedimentos na parte alta da bacia, com maior erosão e transporte de sedimentos, sendo esses de granulometria maior, e observa-se que no sentido de jusante esses materiais vão se fracionando, tornando-se sedimentos de granulometria cada vez menor, sendo que a erosão vai diminuindo e a tendência de sedimentação do material vai aumentando (CARVALHO, 1994).

Estigoni et al. (2011) evidenciou em seu estudo grande retração das atividades de monitoramento hidrossedimentológico dos empreendimentos hidrelétricos. Uma grande dificuldade dos trabalhos em sedimentometria é custo de obtenção de sedimentogramas. A medição direta da concentração de sedimentos nos rios durante os eventos exige a permanência constante de um hidrotécnico na bacia. Os equipamentos automáticos disponíveis tem custo elevado, e equipamentos que correlacionam parâmetros físicos com concentração de sedimentos, exigem profundos trabalhos experimentais para sua calibração (MINELA, et al, 2011).

Neste trabalho os dados característicos da seção, como largura, área e temperatura da água foram fornecidos pelo ADCP *RiverRay*. Os dados obtidos foram processados no programa *WinRiver II*, que armazena, processa e exibe os dados registrados pelo ADCP. Os resultados são mostrados instantaneamente pelo *WinRiver II*, fornecendo informações das diferentes velocidades nas seções verticais do rio, vazão, vetor do fluxo, temperatura, profundidade, distância entre as margens, área da seção, velocidade relativa do barco, entre outras.

Na tabela 11 estão dispostos os valores médios para cada campanha da descarga líquida e outros parâmetros obtidos através do ADCP.

Tabela 11: Resumo dos resultados das medições de descarga líquida por uso do ADCP na seção em cada uma das campanhas no Rio Santa Maria da Vitória.

Parâmetros	Campanhas					
	27/09/2012	12/10/2012	15/11/2012	04/01/2013	13/01/2013	Média
Vm (m/s)	0,537	0,444	0,581	0,492	0,514	0,5136
Q (m <sup>3</sup> /s)	10,686	6,67	15,37	6,65	7,429	9,361
Prof.méd. (m)	0,7831	0,606	0,982	0,606	0,586	0,7126
Largura (m)	27,70	26,30	30,93	27,46	27,52	27,982

Vm = velocidade média; Prof.méd = profundidade média; Q = vazão.

De acordo com o apresentado na Tabela 12 as velocidades obtidas ao longo das campanhas apresentaram algumas alterações, caracterizando situações ambientais específicas em cada campanha.

Da mesma forma que Coelho (2008) discute que reservatórios responsáveis pela geração de energia, como no caso da bacia do rio Santa Maria da Vitória, tem como características comuns a redução das descargas de águas a jusante em boa parte do ano, de forma a garantir seus reservatórios cheios, para que nos períodos de estiagens, utilizem esta água reservada para o fornecimento de energia elétrica.

Os meses de junho e setembro foram meses de poucas chuvas e estas características podem ser vistas nas velocidades médias. Porém, velocidades maiores foram encontradas nas campanhas de 15/06/2011 (0,47 m/s) e 21/03/2012 (0,500 m/s) em meses com valores totais de chuva inferiores. Além disso,



historicamente o ano de 2012 apresentou-se como um ano atípico com chuvas intensas em meses onde frequentemente encontram-se dados de menor valor e meses onde normalmente eram registrados altos valores de chuvas.

#### 5.4. Análise do transporte total de sedimentos

Os valores obtidos de descargas totais em campanha estão demonstrados na tabela 12 abaixo, para a seção à jusante da cidade de Santa Leopoldina.

Tabela 12: Descrição dos valores encontrados nas campanhas para descarga sólida em suspensão, descarga sólida de leito e descarga sólida total estimada pelo método de Einstein Modificado.

Parâmetros	Campanhas				
	27/09/2012	12/10/2012	15/11/2012	04/01/2013	13/01/2013
Qsm (t/d)	46,81	7,83	18,81	3,56	3,85
Qf (t/d)	20,6	11,5	24,4	3,6	10,1
Qt E (t/d)	104,5	43,67	104,92	29,02	46,24
Q (m <sup>3</sup> /s)	6,67	11,81	15,37	6,65	7,42

Qsm = descarga sólida em suspensão; Qf = descarga sólida de leito; Qt E = descarga sólida total estimada pelo método de Einstein Modificado e Q = vazão média na seção.

Quando analisados os valores encontrados na Tabela 12 foi possível notar a diferença considerável entre o total de sedimentos obtidos pela descarga em suspensão e pela descarga de fundo na campanha do dia 27/09. Esses valores podem estar influenciados pela vazão de 10,68m<sup>3</sup>/s encontradas nesse dia, assim como as altas velocidades de corrente (0,537m/s). Já a campanha do dia 15/11 com valores aproximados ao da campanha do dia 27/09 podem ser atribuídas a grande pluviosidade por todo o mês (260,6 mm), assim como as altas velocidades, 0,581 m/s.

Em relação às estimativas de descargas sólidas totais estimadas pelo método de Einstein Modificado (Qt Einstein) nas campanhas realizadas à montante e à jusante da UHE Suiça foram encontrados os seguintes valores de acordo com a tabela 13.

Tabela 13: Resumo de descargas sólidas, medidas em três pontos, antes, durante e após abertura do dispositivo de fundo da UHE Suíça.

Data	Antes (22/08/2012)		Durante (23/08/2012)		Após (30/11/2012)	
	Montante UHE Suíça	Jusante UHE Suíça	Montante UHE Suíça	Jusante UHE Suíça	Montante UHE Suíça	Jusante UHE Suíça
Qsm (t/d)	5,1	16,9	5,6	62,4	19,5	93,8
Qf (t/d)	0,0	0,5	0,0	1,4	5,8	Nc
Qt E (t/d)	5,1	22,3	5,7	5,7	38	Nc

As seções de monitoramento denominadas Montante UHE Suíça e Jusante UHE Suíça apresentaram aumento de estimativa da produção específica de sedimentos, ao longo das três campanhas. É possível notar que os transportes sólidos são influenciados pelos barramentos existentes nos cursos d'água. Os reservatórios, por apresentarem velocidades mais baixas, permitem maior deposição de sedimentos oriundos de montante. Tal fato não foi observado na campanha anterior à abertura do dispositivo de fundo, pois para a seção de montante da UHE Suíça foram obtidas menores estimativas de descargas sólidas, para o mesmo período, quando comparadas com as relativas às outras seções. Possivelmente, isso ocorreu por motivo desta seção estar localizada a jusante do barramento da PCH Rio Bonito.

Foi observado aumento da descarga sólida total na seção Jusante da UHE Suíça, na campanha realizada durante a abertura do dispositivo de fundo. Os valores encontrados de Qt (t/d) demonstram estar muito superiores ao esperado para a seção. Contudo, cabe observar que outros fatores podem ter contribuído para este aumento, tendo em vista que os valores estimados de descargas sólidas continuaram elevados mesmo após o fechamento do dispositivo de fundo. Soma-se a isto a eficiência hidráulica dos equipamentos utilizados para realização das coletas de sedimentos assim como a situação específica da seção naquele momento da retirada dos dados, assim como o grande número de parâmetros envolvidos no processo das equações (BICALHO, 2006).

O método de Einstein utilizado para calcular os valores totais de sedimentos transportados na seção calcula a descarga total de sedimentos a partir de medidas da descarga de sedimentos em suspensão na seção do rio até uma pequena distância do fundo e da extrapolação da carga em suspensão medida até o fundo do rio, não sendo, portanto valores totalmente medidos em campo. Cabe ressaltar que as estimativas de transporte de sedimento realizadas são representativas apenas das condições hidrológicas e hidráulicas prevalentes na ocasião das medições de

campo. As produções específicas de sedimentos nas bacias hidrográficas das seções monitoradas representam as totalidades de aporte de sedimentos a estas, divididas pelas respectivas áreas de drenagem.

Neste trabalho foi utilizado o ADCP para calcular a velocidade das partículas de fundo a partir da funcionalidade *bottom track*. Nossa intenção era comparar os dados obtidos com o ADCP a dados calculados de forma indireta por coleta de sedimentos fundos com equipamento específico, o Helley-Smith.

Rennie *et al.* (2002) admitiram a hipótese de que a diferença entre a velocidade aparente do instrumento dada pelo recurso *bottom track* e a real trajetória do instrumento medida pelo DGPS representa a velocidade média das partículas de sedimentos no leito do rio. Eles designaram essa diferença como a velocidade do leito, e propuseram que isso pode ser usado para estimar a taxa de transporte de sedimentos de fundo através de uma calibração empírica (GAEUMAN & RENNIE, 2006).

Entretanto esses dados não puderam ser comparados devido a fatores relacionados ao DGPS. Seguindo a metodologia de Rennie & Rainville (2006) a velocidade obtida pela função *bottom track* do ADPC foi obtida sem qualquer problema, entretanto a velocidade média que deveria ser tomada pelo DGPS não pode ser obtida devido à reflexão do sinal dos satélites. A seção em estudo encontra-se em um vale no relevo com muitas árvores como mostrado na Figura 31.



Figura 31: A) Vista a montante da seção; B) Vista da margem direita da seção; C) Vista geral da seção em estudo. (Fotos obtidas na campanha do dia 12/10/2012).

Como pode ser observado nas fotos acima, a seção está rodeada por muitas árvores e montanhas. Esta característica fez com que o sinal do DGPS ficasse muito fraco e com muita reflexão, impedindo assim que o equipamento obtivesse um acesso constante aos satélites e impedindo a obtenção correta dos dados para comparação (Figura 32).



Figura 32: Barco com DGPS e flutuador do ADPC acoplados para a realização da tomada de dados de velocidade das partículas de fundo na campanha de 04/01/2013.

Por fim sabe-se que as medições e coletas no campo são de fundamental importância para se obter dados reais da seção ou trecho do rio que se quer analisar. O trabalho de campo é árduo e às vezes passa por situações inesperadas. As possíveis falhas nos cálculos da descarga total de sedimentos podem estar nas medições, nas coletas, nas análises de laboratório e, talvez, em alguns métodos de cálculo.

## 6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES A FUTUROS TRABALHOS

A correlação encontrada entre os dados de vazão e carga total de sedimentos suspensos, que foram transportados em dias de chuvas para a seção, foi sempre positiva. Quando a análise foi feita para as médias acumuladas de chuvas por toda a bacia este valor diminuiu ( $R^2 = 0,0125$ ) indicando que a grande extensão da bacia interfere diretamente nas correlações e concentrações de sedimentos. Ao analisar a ocorrência de chuvas nos dias anteriores às coletas foi encontrado que as mesmas influenciaram nos valores finais de concentração e carga total de sedimentos transportados, podendo esta associação da concentração de sedimentos x chuvas serem notadas nos dados obtidos nas coletas diárias de sedimentos, onde todo pico de sedimentos eram precedidos de picos de chuva.

Comparando os dados obtidos nas seções a montantes e à jusante da PCH Suíça foi encontrado que pouco sedimento fino fica retido no reservatório da usina Suíça demonstrando que os valores das concentrações de sólidos suspensos podem estar sofrendo forte influência de sub-bacia existentes das seções até o reservatório de Rio Bonito. Entretanto a seção localizada a montante da PCH Suíça apresentou as menores estimativas de descargas sólidas podendo estar relacionado à existência da represa da PCH Rio Bonito, na qual deve ocorrer deposição de sedimentos do curso d'água.

No trecho em estudo é predominantemente presente o sedimento próximo ao canal fluvial estando disponível mais rapidamente favorecendo o aparecimento de curvas de histerese no sentido horário. Entretanto foi avaliado que para uma melhor correlação dos dados e consistência dos mesmos, a utilização de um equipamento de turbidez automático e um pluviógrafo, para um monitoramento contínuo durante um período maior com mais dados e mais trabalhos de campo, gerando números mais precisos para análise.

As distribuições dos grãos apresentaram grãos médios predominantes nas amostras de fundo, o que pode ser observado nos gráficos de distribuição de velocidades ao longo das campanhas. Para as amostras em suspensão houve predominância de grãos finos. Verificou-se também que o reservatório de Suíça contribui com a retenção de grãos de maior diâmetro como areia muito grossa e cascalho. É

importante que os métodos de cálculo como os modificados de Einstein sejam aprimorados e adaptados para diferentes condições de campo e que se desenvolvam também novos métodos aplicáveis a estas condições, já que grande parte deles foi desenvolvida em experimentos laboratoriais. Com objetivo de facilitar e minimizar os erros das coletas de sedimentos de arraste de fundo e suspensão, e a utilização de novos equipamentos de medições deve ser incentivado.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARROIO JUNIOR, P. P.; KUWAJIMA, J. I.; MAUAD, F. F. Erosão: Principais tipos, consequências e formas de monitoramento e controle. In: ENES, 10, Foz do Iguaçu, 2012. **Anais...** Foz do Iguaçu.

BELINASSO, T. B. **Monitoramento hidrossedimentométrico e avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica urbana de encosta.** 2002. Dissertação ( Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

BICALHO, C. C. **Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio Descoberto.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília.

BRANCO, N. **Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta.** 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CANTALICE, J. R. B., SOUZA, W. L. S., ARAÚJO, A. M., SILVA, Y. J. A. B., CAVALCANTE, D. M., CRUZ, C. M. C. A., NETO, L. A. M., MENDES, M. H. A. S. Taxas de transporte de sedimento suspenso e de fundo do rio Capibaribe. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 9, Brasília, 2010. **Anais...** Brasília.

CARVALHO, N de O. **Hidrossedimentologia prática.** CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais, Rio de Janeiro, RJ, 1994.

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

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S.; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.385-389, 2002.

CARVALHO, N. O. (2ª Ed). **Hidrossedimentologia prática.** Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

COELHO, A. L. N., Geomorfologia fluvial de rios impactados por barragens. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia v. 9, n. 26, p. 16–32, 2008.

CORREA, Y. J. **Estudo da variação de parâmetros de qualidade de água em pontos da região do estuário do Rio Santa Maria da Vitória.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial.** São Paulo: Blücher, 1981. 313 p.  
DESTEFANI, E. V. **Regime Hidrológico do Rio Ivaí – PR.** 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá-UEM, Maringá.



EDWARDS, T. K.; GLYSSON, G. D. **Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment. Techniques of Water-Resources Investigations of the US Geological Survey.** Book 3, Applications of Hydraulics. Reston: USGS, 1999.

ESTIGONI, M. V.; KUWAJIMA, J. I.; MIRANDA, R. B.; MAUAD, F. F. Análise técnica da legislação e normas sobre estudos hidrossedimentométricos em empreendimentos hidrelétricos. In: World Water Congress, 14, 2011.

FEBA, L. G. T.; MOLINA, P. M.; HERNANDEZ, F. B. T. Diagnóstico hidrossedimentológico da microbacia do Córrego Água da bomba no município de Regente Feijó – SP. In: CONIRD-Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem – Goiânia, 16, 2006. **Anais...** p. 1-6.

GAEUMAN, D.; RENNIE, C. D. A comparison of two field studies of acoustic bed velocity: grain size and instrument frequency effects. In: Federal Interagency Sedimentation Conference, 8., Reno, NV, USA. **Anais...** Reno:JFIC, 2006.

GIRARDI, R.V. et al., Avaliação do Efeito de Escala em Características de Chuva e Vazão em Sub-Bacias Embutidas da Bacia do Potiribu – RS, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.16, n. 2, p. 49-64, 2011.

GUERRA, A.J.T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. ; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** (3ª. Ed). Rio de Janeiro: Bertand, 2009.

GOODWIN, T. H.; YOUNG, A. R.; HOLMES, G. R.; OLD, G. H.; HEWIT, N.; LEEKS, G. J. L.; PACKMAN, J. C.; SMITH, B. P. G. The temporal and spatial variability of sediment transport and yields with the Brasford Beck catchment, West Yorkshire. **The Science of the Total Environment**, v.314, n.316, p.475-494, 2003.

HARTMANN, C.; BULLA, L.A.S.; FELLINI, B.D. Uso do ADCP na avaliação do fluxo e no transporte de sedimentos no baixo rio Jacuí, Charqueadas, RS/Brasil. **GRAVEL**, v. 8, n.1, p.33-44, 2010.

HUBBELL, D. W.; STEVENS, H. H.; SKINNER, J. V.; BEVERAGE, J. P. New approach to calibrating bedload samplers. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 111, n. 4, p. 677-694, 1985.

JANSSON, M. B. Determining sediment sources areas in a tropical river basin, Costa Rica. **Catena**, v.47, p.63-84, 2002.

KLEIN, M. Anti clockwise hysteresis in suspended sediment concentration during individual storms. **Catena**, v.11, p.251-257, 1984.

LANZA, D. **Diagnóstico da erosão laminar na alta e média bacia do rio Paraopeba.** 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LEFRANÇOIS, J.; GRIMALDI, C.; GASCUEL-ODOUX, C.; GILLIET, N. Suspended sediment and discharge relationships to identify bank degradation as a main sediment source on small agricultural catchments. **Hydrological Processes**, v. 21, n. 15, p.2923–2933, 2007.

LELI, I. T. **Varição espacial e temporal da carga suspensa do rio Ivaí**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia), Análise Regional e Ambiental do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

LENZI, M. A.; LORENZO, M. Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites (northeastern Italy). **Catena**, v.39, p.267-282, 2000.

LIMA, J. E. F. W. & LOPES, W. T. A Engenharia de Sedimentos – na busca de soluções para problemas de erosão e assoreamento. **ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos**. Brasília, 2011.

LIMA, G. M. P., LESSA, G. C., FRANKLIN, T. S. Avaliação dos impactos da barragem de Santa Helena no trecho estuarino do rio Jacuípe, litoral norte da Bahia – Brasil. **Quaternary and Environmental Geosciences** v.02, n.1, p.40-54, 2010.

LINO, J. F. de L.; KOBIYAMA, M.; MALUTTA, S. Relação de sólidos em suspensão com vazão e precipitação na bacia hidrográfica do Alto Rio Negro, região sul do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24, 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte MG.

LOPES, V. L. & SRINIVASAN, V. S. Erosão Superficial e produção de sedimentos pelas chuvas: o estado de conhecimento e perspectivas. In. Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos 4, 1981. Fortaleza, **Anais**. São Paulo, Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos. v.1, p. 228-44, 1981.

LÓPEZ-TARAZÓN, J.A, BATALLA, R.J., VERICAT, D., BALASCH J.C., Rainfall, runoff and sediment transport relations in a mesoscale mountainous catchment: The River Isábena (Ebro basin), **Catena** v.82, p.23–34, 2010.

MAGGI, I. MARAGA, F. OTTONE, C. Heavy rains related to the in-channel sediment delivering in a small Alpine basin (North-Western Italy) ERB and Northern European FRIEND Project 5 **Conference, Demänovská dolina**, Slovakia, 2002.

MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B.; SOUZA, W. F. L.; OLIVEIRA, E. N. Aporte de material em suspensão no baixo Rio São Francisco (SE/AL) em diferentes condições hidrológicas. **Brazilian Journal Science Technology**, v.15, n.1, p.42-53, 2011.

MENEGUEL A. L. **Análise de metodologias para o cálculo da descarga de fundo, aplicada ao Rio Doce, ES**. 2012. Dissertação (Mestrado Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

MEURER, M.; BRAVARD, J. P.; STEVAUX, J. C. Granulometria dos sedimentos marginais do Rio Ivaí com vistas à compreensão da dinâmica hidrossedimentar Montante-jusante. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.12, n.1, p.39-44, 2011.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; MAGNAGO, P. Análise qualitativa e quantitativa da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante eventos hidrológicos. **Rev. Bras. Eng. Agri. Amb.** v.15, n.12, p.1306–1313, 2011.

MINELLA, J. P. G. Avaliação parâmetros hidrossedimentométricos numa bacia do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**. v.1; n.1; p. 54-60, 2004.

MONTANHER, O. C.; MORAIS, E. S.; FILHO, E. E. S., Transporte e concentração de sedimentos em suspensão durante a recessão de uma onda de cheia no córrego Zororó, Mndaguaçu-PR. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 13, Universidade Federal de Viçosa 06, 2009. **Anais...** Viçosa – MG.

OLD, G. H.; LEEKS, G. J. L.; PACKMAN, J. C.; SMITH, B. P. G.; LEWIS, S.; HEWITT, E. J.; HOMES, M.; YOUNG, A. The impact of a convectional summer rainfall event on river flow and fina sediment transport in a highly urbanised catchment: Bradfrd, West Yorkshire. **The science of total Enviromment** p. 495-512, 2003.

ORWIN, J. F.; SMART, C. C. The evidence for paraglacial sedimentation and its temporal scale in the deglacierizing basin of Small River Glacier, Canada. **Geomorphology**, v.58, p.175-202, 2004.

OTTONELLI, A. S.; MINELLA, J. P. G; REICHERT, J. M.; BARROS, C. A. P. Efeito histerese entre vazão e concentração de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica no planalto riograndense. In: Congresso Brasileiro de ciências do solo, 33, Uberlândia, 2010. **Anais...** Uberlândia.

PAIVA, D. G. **Análise do índice de relação entre o fluxo de base e reflorestamento por meio de imagens orbitais e análise hidrológica: Baixo curso do rio Ivaí.** 2008. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental) - Universidade Estadual de Maringá-UEM, Maringá.

PAIVA, E. M. C. D.; DIAS DE PAIVA, J. B.; COSTAS, M. F. T.; SANTOS, F. A. Concentração de sedimentos em suspensão em um apequena bacia hidrográfica em urbanização. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, João Pessoa, 2001. **Anais...** João Pessoa.

PRUSKI, F.; F.PEREIRA, S. B.NOVAES, L. F. SILVA, D. D.RAMOS, M. M. Precipitação média anual e vazão específica média de longa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.2/3, p.247-253, 2004.

RAMON, R.; RODRIGUES, M. F.; DALBIANCO, L.; BONUMÁ, N. B.; MINELLA, J. P. G.; REICHERT, J. M. Produção de sedimento em bacias hidrográficas florestais de diferentes escalas no centro sul do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 33.Uberlândia 2010. **Anais...** Uberlândia.

RAN, Q.; SU, D.; LI, P.; HE, V. Experimental study of the impact of rainfall characteristics on runoff generation and soil erosion. **Journal of Hydrology** p.424–425, 2012.

RENNIE, C. D.; MILLAR, R. G.; CHURCH, M. A. Measurement of bed load velocity using an Acoustic Doppler Current Profiler. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 128, n. 5, p. 473-483, 2002.

RENNIE, C. D.; RAINVILLE, F. Real time estimation of ADCP bedload velocity using a Kalman filter. In: World Environmental and Water Resource Congress, 2006, Nebraska. **Anais...** Reston: ASCE, 2006.

SANGOI, R. G. **Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos na bacia hidrográfica experimental de São Martinho da Serra-RS.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SCAPIN, Juliana. **Caracterização do transporte de Sedimentos em um pequeno rio urbano na Cidade de Santa Maria – RS.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SEEGER, M. et al. Catchment soil moisture and rainfall characteristic as determinant factor for discharge/ suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish pyrenees. **Journal of Hydrology**, v.288, p. 299–311, 2004.

SIMONS, D. B.; SENTURK, F. Sediment transport technology: water and sediment dynamics. **Littleton: Water Resources Publications**, p.897, 1992.

SOUZA, W.L.F & KNOPPERS, B. Fluxos de água e sedimentos a costa leste do Brasil: relações entre a tipologia e as pressões antrópicas. **Geoch. Bras.** v.17, n.1, p.057-074, 2003.

SOUZA FILHO, E. E. Evaluation of the Upper Paraná River discharge controlled by reservoirs. **Braz. J. Biol.**, v.69, n.2, p.707-716, 2009.

STRASSER, M. A. **Dunas fluviais no rio Solimões-Amazonas: Dinâmica e transporte de sedimentos.** 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

STOTT, T. Impacts of constructing a rural cycle way on suspended sediment transport processes. **Catena**, v.68, p.16 – 24, 2006.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J.J. **Ambientes fluviais.** Florianópolis: EdUFSC, 1990. 183p.

TEODORO, V.L.I.; et al., O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental do local, **Revista UNIARA - Centro Universitário de Araraquara**, n. 20, p.137-157, 2007.

VESTENA, R. L. **Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem.** 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

WALLING, D. E. Linking land use, erosion and sediment yield in river basins, **Hydrobiology**, v.410, p.223-240, 1999.

WALLING, D.E., FANG, D. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's Rivers. **Global and Planetary Change** v.39, p.111– 126, 2003.

WILLIAMS, G. P. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. **Journal of Hydrology**, v.111, p.89-116, 1989.

WIJDENES, D. J. O. & ERGENZINGER, P. Erosion and sediment transport on steep marly hillslopes, Draix, Haute-Provence, France: an experimental field study. **Catena**, v. 33, p.179-200, 1998.

XU, J. X., & CHENG, D. S. Relation between the erosion and sedimentation zones in the Yellow River, China. **Geomorphology** v.48, n.4, p.365-382, 2002.