

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ALEXANDRE RAFAEL KELNIAR

**ESTUDO DA DESCARGA DE SEDIMENTOS TRANSPORTADOS EM  
TRÊS RIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOURÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2014

ALEXANDRE RAFAEL KELNIAR

**ESTUDO DA DESCARGA DE SEDIMENTOS TRANSPORTADOS EM  
TRÊS RIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOURÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental, do curso de Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental, do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Eudes José Arantes

Co-orientador: Msc. Lina Kesi Gusmão

CAMPO MOURÃO

2014



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### ESTUDO DA DESCARGA DE SEDIMENTOS TRANSPORTADOS EM TRÊS RIOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOURÃO

por

ALEXANDRE RAFAEL KELNIAR

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 07 de agosto de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

---

Prof. Dr. Eudes José Arantes  
Orientador

---

Msc. Lina Kesi Gusmão  
Co-orientador

---

Prof. Dr. Maristela Denise Moresco Mezzomo  
Membro titular

---

Prof. Dr. Rafael Montanhini  
Membro titular

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do curso de Engenharia Ambiental.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pois sem ele não teria forças para enfrentar essa longa jornada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eudes José Arantes, pelos conhecimentos compartilhados durante a trajetória da realização do trabalho.

A minha família, por toda estrutura oferecida, permitindo com que eu conseguisse passar por mais esta etapa.

Em especial a minha namorada Aline Amorim por me apoiar durante esse período da minha vida, por acreditar e continuar junto comigo fazendo parte da realização desse sonho.

A minha Co-orientadora Lina Kesi Gusmão, pelo auxílio para concretização do trabalho e pelas informações e conhecimentos a mim oferecidos.

Aos amigos Jatobil, Batman, Xúnior, Thomas e Júlio, entre muitos que conquistei durante esse período, que ao longo do tempo tornaram-se uma segunda família.

Aos meus colegas, por toda ajuda durante a preparação desta pesquisa e enfim, a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

KELNIAR, Alexandre Rafael. **Estudo da descarga de sedimentos transportados em três rios da bacia hidrográfica do rio Mourão**. 2014. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

Neste trabalho é apresentado um estudo sobre o transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Mourão, onde foram estabelecidas três seções de amostragem. A seção 1 localizada no rio do Campo em Campo Mourão, a seção 2 localizada no rio Mourão no limite entre os municípios de Campo Mourão e Luiziana e a seção 3 no rio Sem Passo no município de Luiziana. Para obtenção dos resultados da descarga de sedimento foram realizadas análises granulométricas do sedimento de leito dos rios em estudo. Para o cálculo da descarga de sedimentos de fundo foram utilizados os métodos de Einstein (1942) com Peter-Meyer e Duboys e Zeller (1963). Para o cálculo da descarga sólida em suspensão foram utilizados os métodos de Einstein (1942) com Peter-Meyer, Duboys e Zeller (1963), Yang (1973) e Righetto (1998), além de estimá-las experimentalmente através de ensaios de sólidos totais e em suspensão. O método de Duboys e Zeller (1963) pode ser utilizado apenas na seção 1, considerando que o perímetro desta seção ser menor que o das demais seções possibilitando o cálculo, onde os valores encontrados para o perímetro foi 5,761m, 9,569m e 12,332m para as seções 1, 2 e 3 respectivamente. Para o entendimento do comportamento do transporte de sedimentos, foi calculado o número de Froude, que classificou o escoamento como subcrítico ou fluvial,  $Fr < 1$ , caracterizando áreas de remanso com fluxo relativamente lento impossibilitando o cálculo para o método de Duboys e Zeller (1963).

**Palavras-chaves:** Transporte de sedimentos, Rio Mourão, Curva chave, Vazão.

## ABSTRACT

KELNIAR, Alexandre Rafael. **Study of the discharge of sediment transported in three rivers in the basin of river Mourão**. 2014. F 67. Completion of course work (Bachelor of Environmental Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Campo Mourão, 2014.

In this work was presented the study of sediment transport in the basin of river Mourao, where three sampling sections were established. The section 1 is located in the Campo river in Campo Mourão, the section 2 is located in Mourao River on the boundary between the counties of Campo Mourão and Luiziana and section 3 on the Sem Passo river in the county of Luiziana. To obtain the results from the discharge of sediment were performed granulometric analyzes of the sediment of the riverbed in the study. To calculate the discharge of bottom sediments were used methods Einstein (1942) and Meyer, Peter Duboys and Zeller (1963). To calculate the suspended sediment discharge were used methods of Einstein (1942) with Peter-Meyer, Duboys and Zeller (1963), Yang (1973) and Righetto (1998), and estimate them experimentally by testing solids totals and in suspension. The method Duboys and Zeller (1963) can be used only in section 1, considering the perimeter of this section be lower than in the other sections enabling the calculation, where the values found for the perimeter was 5,761 m, 9,569 m e 12,332 m for sections 1, 2 and 3 respectively. To understand the behavior of the sediment transport, was calculated the Froude number, which ranked as the flow subcritical or fluvial,  $Fr < 1$ , featuring backwater areas with relatively slow flow precluding the calculation method for the Duboys and Zeller (1963).

**Keywords:** Sediment transport, River Mourão, Key Curve, Flow.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1: Classes de solo da bacia do Rio Mourão, Paraná. ....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2: Mapa da localização das seções de vazão e coleta de sedimentos. ...</b>	<b>20</b>
<b>Figura 3: Avaliação dos parâmetros da equação 06. ....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 4: Diagrama de Shields. ....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 5: Gráfico da granulometria da Seção 1. ....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 6: Gráfico da granulometria da Seção 2. ....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 7: Gráfico da granulometria da seção 3. ....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 8: Gráfico da curva chave da seção 1. ....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 9: Gráfico da curva chave da seção 2. ....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 10: Gráfico da curva chave da seção 3. ....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 11: Gráfico da relação entre descarga de sedimento e o número de Froude para seção 1. ....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 12: Gráfico da relação entre descarga de sedimento e o número de Froude para seção 2. ....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 13: Gráfico da relação entre descarga de sedimento e o número de Froude para seção 3. ....</b>	<b>42</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1: Datas da realização das campanhas de coleta de sedimentos e análise granulométrica.....</b>	<b>27</b>
<b>Tabela 2: Datas da realização das campanhas de medições de vazão. ....</b>	<b>27</b>
<b>Tabela 3: Porcentagem do tamanho das partículas de sedimento para seção 1. ....</b>	<b>29</b>
<b>Tabela 4: Alturas Mensais de precipitação (mm) para estação Mamborê. ....</b>	<b>30</b>
<b>Tabela 5: Porcentagem do tamanho das partículas de sedimento para seção 2. ....</b>	<b>30</b>
<b>Tabela 6: Porcentagem do tamanho das partículas de sedimento para seção 3. ....</b>	<b>31</b>
<b>Tabela 7: Resultado da massa específica dos grãos para as seções em estudo. ....</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 8: Dados de vazão e profundidade máxima das seções para elaboração da curva chave. ....</b>	<b>33</b>
<b>Tabela 9: Estimativa da descarga de sedimento para a seção 1. ....</b>	<b>36</b>
<b>Tabela 10: Estimativa da descarga de sedimento para a seção 2. ....</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 11: Estimativa da descarga de sedimento para a seção 3. ....</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 12: Concentrações calculadas e experimentais para seção 1. ....</b>	<b>38</b>
<b>Tabela 13: Concentrações calculadas e experimentais para seção 2. ....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 14: Concentrações calculadas e experimentais para seção 3. ....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 15: Resultados para o número de Froude e concentração de sedimentos em ppm. ....</b>	<b>40</b>



# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>13</b>
3.1 ORIGEM DO SEDIMENTO .....	13
3.2 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTO .....	13
3.3 AVALIAÇÃO DA DESCARGA DE SEDIMENTO .....	14
3.4 DETERMINAÇÃO DA TURBIDEZ E SÓLIDOS TOTAIS .....	15
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>17</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	17
4.2 COLETA DE SEDIMENTOS, VAZÃO E CURVA CHAVE .....	21
4.3 CURVA CHAVE .....	21
4.4 SÓLIDOS TOTAIS .....	22
4.5 ESTIMATIVA DA DESCARGA DE SEDIMENTOS .....	22
4.5.1 Características Hidráulicas .....	22
4.5.2 Transporte de sedimentos de fundo .....	23
4.5.3 Transporte de sedimentos suspensão .....	25
4.5.4 Número de Froude .....	26
4.6 OBTENÇÃO DE DADOS DE CAMPO.....	26
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>28</b>
5.1 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS.....	28
5.2 MASSA ESPECÍFICA .....	31
5.3 VAZÃO E CURVA CHAVE .....	32
5.4 CÁLCULO DA DESCARGA DE SEDIMENTO .....	35
5.4.1 Suspensão e de fundo .....	35
5.4.2 Relação entre Número de Froude e Descarga de Sedimento .....	39
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>45</b>
<b>APÊNDICE A – Dados para o cálculo das características hidráulicas para as seções 1, 2 e 3.</b> .....	<b>50</b>
<b>APÊNDICE B – Cálculo das características hidráulicas</b> .....	<b>52</b>
<b>APÊNDICE C – Cálculo da descarga de sedimentos de fundo pelos métodos de Einstein com Peter-Meyer e Duboys e Zeller</b> .....	<b>58</b>
<b>APÊNDICE D – Cálculo do transporte de sedimentos em suspensão</b> .....	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é indispensável para sobrevivência humana, desempenhando também uma importante ação no desenvolvimento socioeconômico da sociedade. Nos diversos ciclos naturais, o ciclo hidrológico representa um importante mecanismo de ação nos processos de degradações físicas e químicas, como por exemplo, a erosão, o assoreamento, a lixiviação, a perda de nutrientes, a salinização, entre outros, que são diretamente associados ao movimento das águas na Terra.

O Brasil tem uma das maiores redes fluviais do mundo, sendo muito importante para o desenvolvimento do país principalmente quando o assunto é o abastecimento de água, navegação, geração de energia hidráulica, recreação e irrigação na agricultura, podendo ser proveniente de rios, lagos, poços, reservatórios entre outros. Os escoamentos de água nos corpos hídricos compõem os agentes mais importantes no transporte dos materiais intemperizados das áreas elevadas para as mais baixas.

Vestena (2008) explica que os processos hidrossedimentológicos estão intimamente vinculados ao ciclo hidrológico e compreendem a desagregação, erosão, deslocamento, o transporte e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia hidrográfica.

De acordo com Carvalho (2008), os sedimentos que chegam ao rio têm granulometria variada e terão transporte alterado conforme as condições locais de escoamento. Esta variação ocorre em função do tamanho, peso e forma da partícula, podendo permanecer em suspensão ou no fundo do rio, saltando do leito para o escoamento, deslizando ou rolando ao longo do leito.

Para isso, é de suma importância à realização de análises granulométricas do sedimento do leito de rios, uma vez que para o uso de modelos matemáticos para quantificar a descarga de sedimentos, o principal fator é o tamanho das partículas do sedimento.

Lima, Silva e Carvalho (2006) afirmam que o conhecimento sobre a distribuição granulométrica de sedimentos do leito de rios é fundamental para o uso de métodos indiretos de cálculo da descarga sólida total em uma seção transversal de determinado curso d'água, bem como para outros estudos

hidrossedimentológicos. Em geral, as técnicas utilizadas para a avaliação da distribuição granulométrica de amostras resultam em valores pontuais, dependendo de posterior interpolação para o traçado da curva granulométrica e a obtenção de valores correspondentes a diâmetros característicos específicos. A transformação de valores pontuais em funções contínuas pode ser realizada por meio de modelos matemáticos neste estudo.

Devido às variações no regime hidrológico uma das grandes dificuldades encontradas, é no estudo da descarga mássica de sedimentos. Os sólidos em suspensão variam de forma correlacionada com as características do sedimento, desta forma a utilização de variáveis indiretas como turbidez e sólidos, podem ser essenciais para quantificação do sedimento transportado em rios. Com estas variáveis e dados hidrométricos como vazão, profundidade, raio hidráulico e perímetro molhado da seção pode-se aplicar modelos matemáticos para estimar o transporte de sedimentos nos rios em estudo. Desta forma, neste trabalho foram apresentadas metodologias distintas para estimar a descarga de fundo e descarga em suspensão. Os métodos utilizados para descarga de fundo foram Einstein (1942) com Peter-Meyer e Duboys e Zeller (1963). Para descarga em suspensão utilizou-se o método de Yang (1973).

A escolha das sub-bacias do rio Mourão, rio do Campo e do rio Sem Passo, é devido à importância desses rios para a bacia hidrográfica do rio Mourão, que por sua vez é pobre em estudos hidrossedimentológicos. Assim a quantificação do sedimento nesses rios é essencial para previsão de assoreamento, índice da qualidade da água, tendo em vista que o rio Mourão e o rio Sem Passo são os principais contribuintes para o reservatório da usina hidrelétrica Mourão e o rio do Campo e responsável por mais de 60% do abastecimento de água do município de Campo Mourão.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Quantificar e avaliar a descarga de sedimentos correlacionando as características hidrométricas e as características físicas do sedimento para as três sub-bacias do Rio Mourão, PR.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer a análise granulométrica do sedimento de fundo dos rios em estudo;
- Utilizar modelos matemáticos para estimativa da descarga de sedimentos de suspensão e de fundo com base na análise granulométrica do sedimento;
- Levantar características hidrométricas para as sessões de estudo com determinação da curva chave;
- Determinar características físicas do escoamento nos rios e correlacionar com as descargas e concentrações de sedimento;
- Avaliar comparar as metodologias utilizadas para o cálculo do transporte de sedimento.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 ORIGEM DO SEDIMENTO**

O transporte de sedimento é um fenômeno complexo que depende de processos erosivos que ocorrem nas vertentes da bacia e no leito e margens dos rios, que fornecem material que, por sua vez, dependem da energia do fluxo para serem transportados (SANTOS et al., 2001).

A sedimentação pode ocorrer através de processos naturais que aconteceram através dos tempos geológicos, sendo responsáveis pela forma atual da superfície da Terra. Os principais agentes dinâmicos externos do processo de sedimentação podem atuar combinados ou isoladamente e são compostos pela água, o vento, a gravidade e os agentes biológicos (GUIMARÃES, 2009).

Guimarães (2009) afirma que os fenômenos relacionados com os sedimentos abrangem a erosão, deslocamento das partículas por enxurradas ou outros meios até os rios, transporte de sedimentos nos cursos d'água, deposição do sedimento na calha dos rios, lagos e reservatórios e sua compactação. Muitos dos fenômenos podem ser mesmo visualizados, ou presenciados, porém possuem alto grau de complexidade.

#### **3.2 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTO**

Os estudos acerca da descarga sólida dos corpos aquáticos são uma importante ferramenta para a caracterização dos mesmos, uma vez que os sedimentos interferem diretamente na qualidade e quantidade de água, pois, como veículos de transporte de microrganismos, podem conter partículas tóxicas e, sobretudo, intensificar o assoreamento dos rios, evidenciando importantes processos e estágios de degradação do meio ambiente (MARCONDES, 2011).

Segundo Lopes (2008) os processos hidrossedimentológicos são resultados da interação entre os processos hidrológicos e sedimentológicos, sendo a água um

dos principais geradores do desprendimento de partículas de rochas e solos que irão contribuir para a produção de sedimentos da bacia.

Para Coiado (2003) a degradação das bacias hidrográficas pela ação antrópica, associada aos fenômenos naturais de precipitação, como os verificados nas regiões tropicais, resulta, num curto espaço de tempo, em quantidades de sedimentos, muito maiores que aquelas produzidas em centenas de anos em condições de equilíbrio natural.

### 3.3 AVALIAÇÃO DA DESCARGA DE SEDIMENTO

Para Branco (1998), existem duas maneiras de avaliar o transporte de sedimentos ao longo dos leitos fluviais. A primeira é pelo uso de fórmulas empíricas de transporte de sedimentos, cujo processo compreende correlacionar à carga sólida, com parâmetros do escoamento, do material transportado e do fluido. A segunda é realizada por medições diretas de vazão líquida e concentração de sedimentos em uma seção de medida no curso d'água. Como condição para que os resultados tenham representatividade é que as medições sejam periódicas e realizadas em um determinado intervalo de tempo.

Para medição de vazões, utiliza-se de molinetes e outros tipos de fluxômetros, pois são métodos bastante conhecidos e aplicados, entretanto, na execução demandam tempo, conhecimentos e habilidades técnicas, sem os quais podem gerar dados que não condizem com o real (FILHO et al., 1999).

Uma alternativa para o monitoramento do transporte de sedimento consiste em estabelecer uma relação entre vazão e concentração de sedimentos instantânea para estimar o fluxo de sedimentos, nesse caso, a concentração de sedimentos instantânea é correlacionada com a vazão instantânea para a construção de uma curva-chave (RODRIGUES, 2011).

A vazão necessita ser medida em diversos níveis da água para que a relação entre nível-vazão seja mais representativa, desta forma a concentração de sedimento também deve ser medida em períodos chuvosos e secos, pois a concentração de sedimento é muito sensível à sazonalidade e também difere de evento para evento. De acordo com Carvalho (1994) de 70% a 90% de todo o

sedimento transportado pelos cursos d'água ocorrem no período de chuvas, principalmente durante as fortes precipitações. Por isso em períodos chuvosos o monitoramento deve ser intensificado.

De acordo com Umeki, Kuroda e Gentil (2009), que realizaram estudos da descarga de sedimentos para uma bacia experimental, o melhor método avaliado de descarga de fundo foi o de Schoklitsch (1950), devido à proximidade nos valores em relação à descarga em suspensão, já que para os cálculos desta, realizou-se a média entre os três métodos. Sendo assim, o método com resultados menos eficaz foi o de Duboys e Zeller (1963), pois apresentou uma grande diferença na descarga em suspensão.

Scapin, Paiva e Beling (2007), em estudos no Arroio Cancela em Santa Maria - RS, realizaram treze campanhas de dezembro de 2003 a novembro de 2004, onde os resultados obtidos nas campanhas permitiram comparar os valores medidos da descarga total de sedimentos com os valores calculados pelos métodos de Meyer Peter & Müller (1948), Einstein (1950), Einstein Modificado por Colby e Hembree (1955), Colby (1957), Engelund e Hansen (1967), Yang (1973), Ackers e White (1973), Van Rijn (1984), Karim (1998) e Cheng (2002).

Desta forma nos estudos de Scapin, Paiva e Beling (2007), os autores concluíram que os métodos de Einstein Modificado por Colby e Hembree (1955) e Colby (1957), que incorporam dados medidos de concentração de sedimentos em suspensão, forneceram os melhores resultados e para os métodos da estimativa indireta da descarga total de sedimentos, o Método de Yang foi o que apresentou os melhores resultados, com a relação média entre a descarga calculada e a descarga medida de 1,41 e índice de dispersão de 3,08.

### 3.4 DETERMINAÇÃO DA TURBIDEZ E SÓLIDOS TOTAIS

Turbidez é a presença de partículas em suspensão variando em tamanho desde suspensões grosseiras até o estado coloidal. A natureza dessas partículas é muito variada: argila, silte, matéria orgânica, material proveniente de descargas de esgoto doméstico e industrial e de galerias de água pluvial, bactérias, algas e outros micro-organismos e até pequenas bolhas de ar. (RICHTER, 2009).

A turbidez geralmente é expressa em unidade nefelométrica de turbidez (NTU), e sofre influência direta da presença de sólidos em suspensão, que impedem que o feixe de luz penetre na água, reduzindo a fotossíntese da vegetação submersa e algas (TAVARES, 2005).

Todas as impurezas com exceção dos gases dissolvidos são considerados sólidos suspensos em corpos d'água. Altas concentrações de sólidos em suspensão reduzem a passagem de luz solar, afetam organismos bentônicos e desequilibram as cadeias tróficas (TAVARES, 2005).

Atualmente o uso e ocupação do solo tem grande influência no comportamento das características do solo e da água, tendo em vista a ampliação de áreas agrícolas e remoção de florestas, que acarreta em um significativo aumento nos processos que levam a degradação de grandes áreas, causando prejuízos aos recursos hídricos.

A modificação da paisagem vem sendo realizada, na maioria das vezes, irresponsavelmente, resultando na degradação dos mananciais, seja pela aceleração dos processos erosivos, alteração das disponibilidades hídricas, ou mesmo pela contaminação por defensivos agrícolas e lançamento de efluentes urbanos e industriais, (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010).



## 4 MATERIAL E MÉTODOS

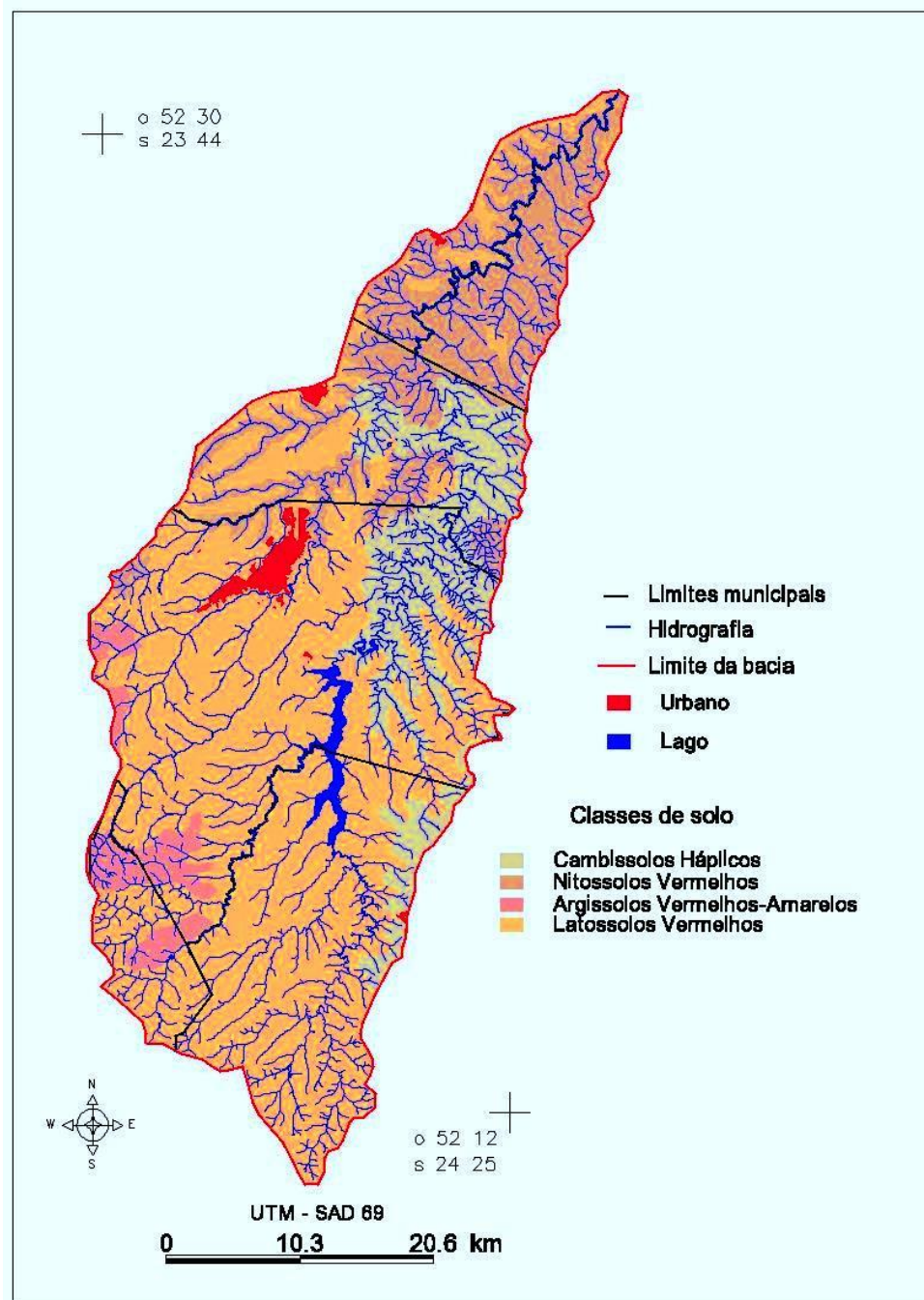
### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Mourão drena uma área aproximada de 1.650 km<sup>2</sup> e faz parte da bacia hidrográfica do rio Ivaí. Está situada entre as latitudes O 52°30' e O 52°12' e latitudes S 23°44' e S 24°25', na mesorregião centro-ocidental do Paraná, abrangendo partes dos municípios de Engenheiro Beltrão, Luiziana, Mamborê, Quinta do Sol, Peabiru e Campo Mourão (CARNEIRO, 2014).

Segundo Baldo (2006), os valores pluviométricos médios anuais variam entre 1.500 e 1.900 mm, sendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro os mais chuvosos com médias entre 175 e 200 mm. Julho e agosto são os meses mais secos com médias variando entre 50 e 100 mm.

O substrato rochoso é composto principalmente pela Formação Serra Geral, com rochas relacionadas ao *Trapp* basáltico, caracterizado por basalto amigdaloidal de base, basalto compacto, basalto amigdaloidal, basalto vesicular e brecha basáltica e/ou sedimentar (Mineropar, 2001). Encontra-se em menor proporção a Formação Caiuá, constituída por arenitos eólicos com estratificação cruzada de grande porte e depósitos subaquáticos ou lacustres efêmeros, desenvolvidos entre dunas de estratificação horizontal planoparalelas (Bigarella e Mazuchowski, 1985).

As classes de solos estão associadas às formas de relevo e ao substrato geológico. Nas posições de topo e alta vertente são encontrados os Latossolos Vermelhos (Distroférico, Distróficos e Eutróficos); na média-baixa vertente os Argissolos Vermelhos (Distrófico e Eutrófico), sobre os arenitos da Formação Caiuá e os Nitossolos Vermelhos (Eutroférico e Disférico) sobre os basaltos da Formação Serra Geral. Os Cambissolos Háplicos ocorrem associados aos relevos mais dissecados conforme ilustrado na Figura 1.



**Figura 1: Classes de solo da bacia do Rio Mourão, Paraná.**  
Fonte: Carneiro (2014).

Segundo Koeppen (1948), o Cfa é subtropical, com verão quente, apresentando temperaturas superiores a 22°C no verão e com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco; o Cfb é temperado, com verão ameno, chuvas uniformemente distribuídas e sem estação seca; e o Cwa é subtropical de inverno seco (com temperaturas inferiores a 18°C) e verão quente (com temperaturas superiores a 22°C).

Campo Mourão possui a maior parte de seu território pertencente à Floresta Ombrófila Mista Montana, apresentando pequena porção de Floresta Semidecidual à nordeste de seu território e fragmentos de Cerrado. Ou seja, essa zona de transição climática faz da região um ecótono de vegetação entre a Floresta Estacional Semidecidual com a Floresta Ombrófila Mista, apresentando encraves de cerrado dados do (ITCG, 2009).

A realização do trabalho ocorreu em três rios pertencentes à bacia hidrográfica do rio Mourão, sendo eles o rio Sem Passo localizado no município de Luiziana - PR, o rio do Campo localizado no município de Campo Mourão - PR e o rio Mourão localizado a montante do reservatório da Usina Hidrelétrica Mourão no limite entre os municípios de Campo Mourão e Luiziana.

Os municípios de Campo Mourão e Luiziana estão situados entre os rios Piquiri e Ivaí, pertencendo à bacia hidrográfica do rio Ivaí, tributária da bacia hidrográfica do rio Paraná (PARANÁ, 1998). O solo predominante na região de Campo Mourão e Luiziana de acordo com o novo sistema hierarquizado dos solos é o Latossolo Vermelho Distroférico, (EMBRAPA, 2007).

O Município de Campo Mourão está localizado na região Centro-Oeste do estado do Paraná, em altitudes próximas a 630 metros acima do nível do mar, com área de aproximadamente 757,875 km<sup>2</sup> e uma população de 87.194 habitantes, IBGE (INSTITUTO..., 2010).

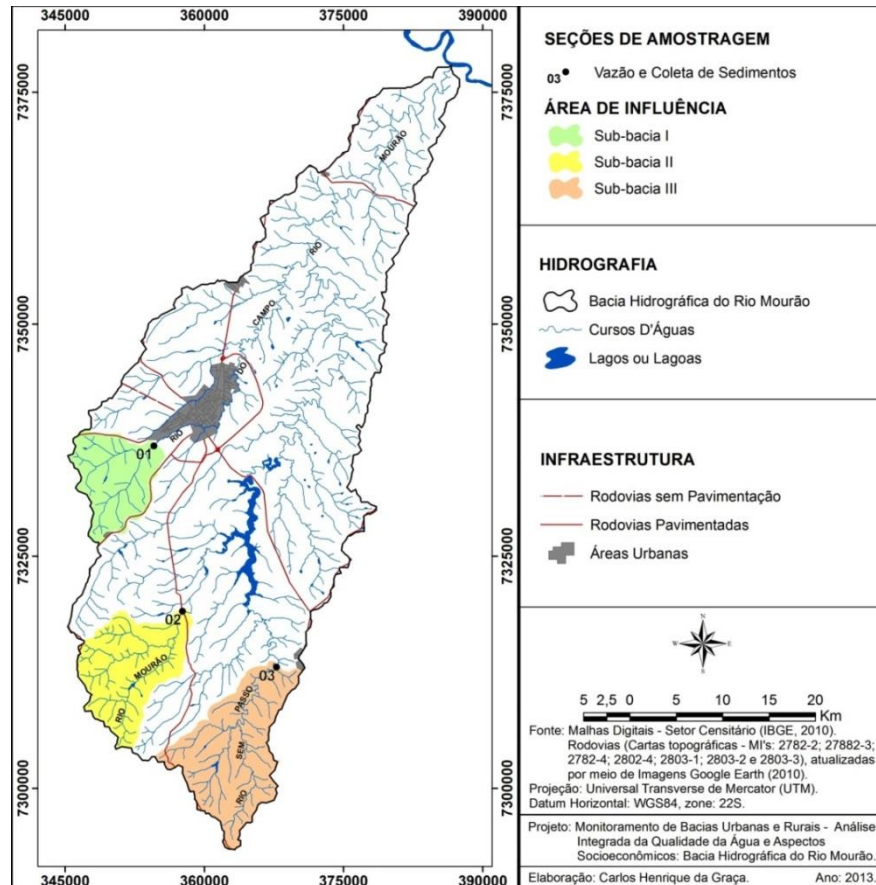
O município de Luiziana esta localizado na Microrregião Geográfica de Campo Mourão possui uma altitude média de 760 metros, têm aproximadamente 7.315 habitantes e área de 908,601 km<sup>2</sup>, IBGE (INSTITUTO..., 2010).

O Rio do Campo é considerado um dos principais afluentes do rio Mourão e também responsável por parte do abastecimento de água da população do município de Campo Mourão.

O Rio Sem Passo é um dos principais afluentes da Usina Hidrelétrica Mourão, sua bacia hidrográfica apresenta em sua morfologia, declividade entre 10% e 12%, com topos aplainados e vertentes retilíneas e côncavas na base, apresentando vales em calha modelados em rochas da Formação da Serra Geral (MINEROPAR, 2001).

O trabalho foi realizado em três seções de amostragem, onde a seção 1 encontra-se na sub-bacia 1, localizada no rio do Campo no município de Campo Mourão a montante da captação de água da SANEPAR, a seção 2 encontra-se na

sub-bacia 2, situada no rio Mourão no limite entre os municípios de Campo Mourão e Luiziana a montante do reservatório da Usina Mourão, a seção 3 encontra-se na sub-bacia 3, localizada no rio Sem Passo no município de Luiziana, conforme ilustra a Figura 2.



**Figura 2: Mapa da localização das seções de vazão e coleta de sedimentos.**  
Fonte: Graça (2013).

Na Figura 2 são apresentadas as delimitações das sub-bacias para cada seção de estudo, obtendo-se a área de contribuição em relação ao escoamento superficial para cada seção, onde a seção 1 compreende uma área de aproximadamente 76,159 km<sup>2</sup>, a seção 2 apresenta uma área de aproximadamente 106,058 km<sup>2</sup>, a seção 3 tem uma área de aproximadamente 140,628 km<sup>2</sup>, (GRAÇA, 2013).

## 4.2 COLETA DE SEDIMENTOS, VAZÃO E CURVA CHAVE

Os sedimentos de fundo foram coletados no leito dos três rios em cada uma das seções em estudo utilizando uma Draga de Petersen. Após a coleta, ficaram acondicionados em sacos plásticos devidamente identificados e encaminhados para o laboratório de solos da universidade, onde ocorreu a secagem e preparação do material coletado para realização dos ensaios de granulometria. As análises granulométricas foram realizadas de acordo com a NBR 7181 de 1984, NBR 6502 de 1995 e a NBR 6508 de 1984.

A vazão foi determinada utilizando um Molinete Fluviométrico Newton da marca HIDROMEC e um medidor de vazão acústico FlowTracker marca SONTEK.

## 4.3 CURVA CHAVE

A curva chave foi gerada através de gráficos com dados da vazão e dados de profundidade do rio, sendo realizado para cada data de medição de vazão.

Segundo Maldonado (2009), a representação gráfica é a forma mais empregada e mais conhecida para elaboração da curva chave de vazão, constituindo a relação cota/vazão representada por uma curva traçada em um sistema de eixos retangulares, representando as cotas ( $h$ ), utilizando a relação sob a forma  $h = f(Q)$ , representando as descargas ( $Q$ ), segundo a relação sob a forma  $Q = (h)$ .

A equação (01) mostra a formulação matemática baseada na fórmula de Manning:

$$Q = \frac{A}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (01)$$

Onde  $Q$  é a vazão,  $S$ , a declividade do canal,  $R_h$ , o raio hidráulico,  $n$ , o coeficiente de rugosidade de Manning e  $A$ , a área da seção transversal do canal.

Desta forma toda a relação  $h/Q$  pode ser representada pela forma exponencial, como mostra a equação (02):

$$Q = a \cdot (h - h_0)^b \quad (02)$$

Sendo,  $Q$  a vazão em ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $b$  é o coeficiente de adequação para curva chave,  $h$  (m) é a cota referente a uma vazão  $Q$  e  $h_0$  (m) é a cota referente a vazão nula, (MALDONADO, 2009).

#### 4.4 SÓLIDOS TOTAIS

Para as análises de sólidos totais, foram coletadas amostras de água em cada seção de amostragem nas mesmas datas de medição de vazão, realizando a análise logo após a chegada de campo, para a amostra não sofrer nenhum tipo de alteração. Os ensaios de sólidos totais foram realizados de acordo com Rice et al.,(2012), onde as análises serão feitas no laboratório, de solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão - PR.

#### 4.5 ESTIMATIVA DA DESCARGA DE SEDIMENTOS

##### 4.5.1 Características Hidráulicas

Conforme Umeki (2012), através da equação (03), obtêm-se a velocidade média da água em um canal utilizando o modelo de Manning que é dada por:

$$v = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (03)$$

Onde  $v$  é a velocidade média da água,  $n$  é uma característica da rugosidade da superfície de contato do canal do rio com água (tabelado),  $R_h$  o raio hidráulico (m) e  $S$  a declividade do canal ( $\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$ ).

Para a aquisição da declividade, a equação (03) pode ser rearranjada substituindo o  $R_h$  por  $A/P$  (relação entre a área ( $A$ ) e o perímetro molhado da seção) e  $v$  por  $Q/A$  (relação entre a vazão e a área), conforme apresentado na equação (04), obtendo-se:

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{A}{P} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (04)$$

Por meio da equação (04), isolando o S, torna-se possível encontrar a declividade teórica do canal, conforme a equação (05).

$$S = \left( \frac{n \cdot Q}{A^{\frac{5}{3}} \cdot P^{\frac{-2}{3}}} \right)^2 \quad (05)$$

#### 4.5.2 Transporte de sedimentos de fundo

DuBoys (1879) criou um modelo para transporte de sedimentos, onde  $q_s$  é descarga sólida ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ),  $\chi$  é coeficiente característico do sedimento obtido através do gráfico mostrado na Figura 3,  $\tau_0$  é a tensão de cisalhamento do escoamento sobre o leito ( $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  $\tau_{0,crit}$  é tensão crítica de cisalhamento ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ), conforme a mostra a equação (06).

$$q_s = \frac{\chi \cdot \tau_0 \cdot (\tau_0 - \tau_{0,crit})}{g^2} \cdot \rho_s \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}) \quad (06)$$

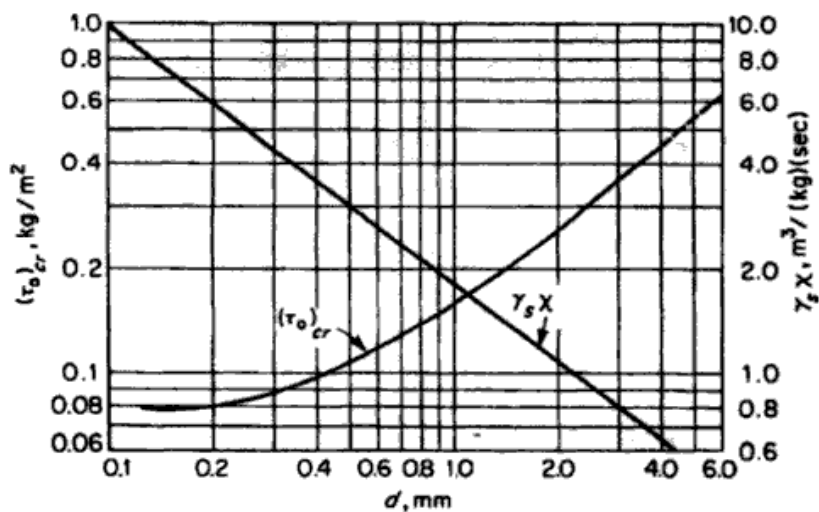


Figura 3: Avaliação dos parâmetros da equação 06.  
Fonte: Zeller (1963).

Einstein (1942) divulgou a carga de fundo, relacionando duas variáveis adimensionais,  $\psi$  e  $\phi$ , definidas por:

$$\psi = \frac{(\gamma_s - \gamma) \cdot D_s}{\tau_0} \quad (07)$$

Na equação (08), considerando  $\gamma_s$  o peso específico do sólido,  $\gamma$  o peso específico da água,  $D_s$  diâmetro médio das partículas do leito,  $w_s$  a velocidade de queda das partículas, estimada pela seguinte relação de equilíbrio das forças de gravidade e de resistência:

$$w_s = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \cdot D_s} \quad (08)$$

Chein (1954), considerando o modelo de Meyer-Peter et al., (1934) e de Einstein (1942), conforme citado no trabalho de Umeki (2012), apresentou uma relação entre os termos  $\psi$  e  $\phi$ , mostrados na equação (09) e equação (10).

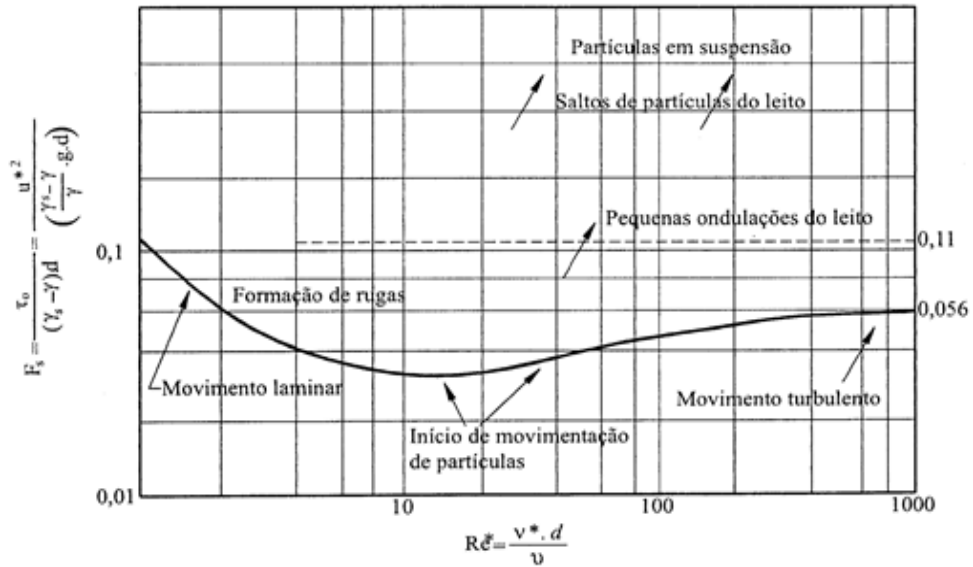
$$\phi = \left( \frac{4}{\psi} - 0,188 \right)^{3/2} \quad (09)$$

Os parâmetros adimensionais  $\psi$  e  $\phi$  têm a seguinte relação funcional, sendo  $f(1/\psi)$  uma função empírica, obtida por meio de dados observados.

$$\phi = \frac{q_s}{\rho_s \cdot w \cdot D_s} = f\left(\frac{1}{\psi}\right) \quad (10)$$

Deste modo essa relação é utilizada nos cálculos para a obtenção da carga de fundo,  $q_s$ . Para verificar se há erosão nas seções analisadas é utilizado o diagrama de Shields, como mostra a Figura 4.





**Figura 4: Diagrama de Shields.**  
**Fonte: Righetto (1998).**

#### 4.5.3 Transporte de sedimentos suspensão

Umeki (2012) utiliza o modelo matemático de Yang (1973), pois esse modelo é o mais recomendado para areia. A equação (11) mostra o modelo de Yang que é aconselhada para descargas de sedimentos em suspensão.

$$\log(C_s) = a_1 + a_2 \cdot \log\left(\frac{U \cdot S}{w_s} - \frac{U_c \cdot S}{w_s}\right) \quad (11)$$

A equação (12) e a equação (13) são utilizadas para determinar os valores de  $a_1$  e  $a_2$ , que são variáveis empíricas.

$$a_1 = 5,435 - 0,286 \cdot \log\left(\frac{w_s \cdot d}{\nu}\right) - 0,457 \cdot \log\left(\frac{u^*}{w_s}\right) \quad (12)$$

$$a_2 = 1,799 - 0,409 \cdot \log\left(\frac{w_s \cdot d}{\nu}\right) - 0,314 \cdot \log\left(\frac{u^*}{w_s}\right) \quad (13)$$

Onde  $C_s$  é a concentração por peso em partes por milhão (ppm);  $d$  é o diâmetro ( $d_{50}$ ) dos sedimentos em m;  $w_s$  é a velocidade de sedimentação da partícula de diâmetro médio  $d$  em  $m \cdot s^{-1}$ ;  $\nu$  é a viscosidade em  $m^2 \cdot s^{-1}$ ;  $u^*$  é a velocidade de cisalhamento em  $m \cdot s^{-1}$ ;  $U$  é a velocidade média na seção em  $m \cdot s^{-1}$ ;  $S$  é a declividade da linha de energia e  $U_c$  é a velocidade média para movimento incipiente dos sedimentos dada pela equação (14).

$$U_c = w_s \cdot \left( \frac{2.5}{\log(u^* \cdot d/v) - 0.06} + 0.66 \right), \text{ para } 1,2 < u^* \cdot d/v < 70 \quad (14)$$

#### 4.5.4 Número de Froude

De acordo com Porto (2006), o número de Froude é um número adimensional muito utilizado em estudos de canais, é definido como a raiz quadrada da relação entre a força de inércia e a força da gravidade, e expresso por:

$$Fr = \sqrt{\frac{\rho V^2 L^2}{\rho L^3 g}} = \frac{V}{\sqrt{gL_c}} \quad (15)$$

Onde  $V$  é a velocidade média na seção,  $g$  é a aceleração da gravidade e  $L_c$  é uma dimensão característica do escoamento. Nos canais, é comum definir como dimensão característica a altura hidráulica da seção, de modo que o número de Froude é apresentado como:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gH_m}} \quad (16)$$

O número de Froude é utilizado para classificar os escoamentos livres que ocorrem nas aplicações práticas em três tipos, como segue:

- a) Escoamento subcrítico ou fluvial,  $Fr < 1$ .
- b) Escoamento supercrítico ou torrencial,  $Fr > 1$ .
- c) Escoamento crítico,  $Fr = 1$ .

#### 4.6 OBTENÇÃO DE DADOS DE CAMPO

Os estudos *in loco* foram realizados nos meses de Agosto de 2012 a Janeiro de 2014, onde foram efetuadas 4 campanhas de coleta de amostra de sedimento e 10 campanhas de medição de vazão nas três seções de estudo, onde as datas de coletas de sedimentos e ensaios de granulometria são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1: Datas da realização das campanhas de coleta de sedimentos e análise granulométrica.**

<b>Campanha</b>	<b>Coleta do sedimento</b>	<b>Ensaio de granulometria</b>
1 <sup>a</sup>	21/08/2012	04/12/2012
2 <sup>a</sup>	23/05/2013	24/08/2013
3 <sup>a</sup>	25/10/2013	13/02/2014
4 <sup>a</sup>	24/01/2014	13/03/2014

A escolha das seções teve como objetivo fazer um estudo da descarga de sedimentos, medição da vazão e elaboração da curva chave para os três pontos tendo em vista que esses rios são os principais da bacia do Rio Mourão. As datas das campanhas de medições de vazão podem ser visualizadas na Tabela 2.

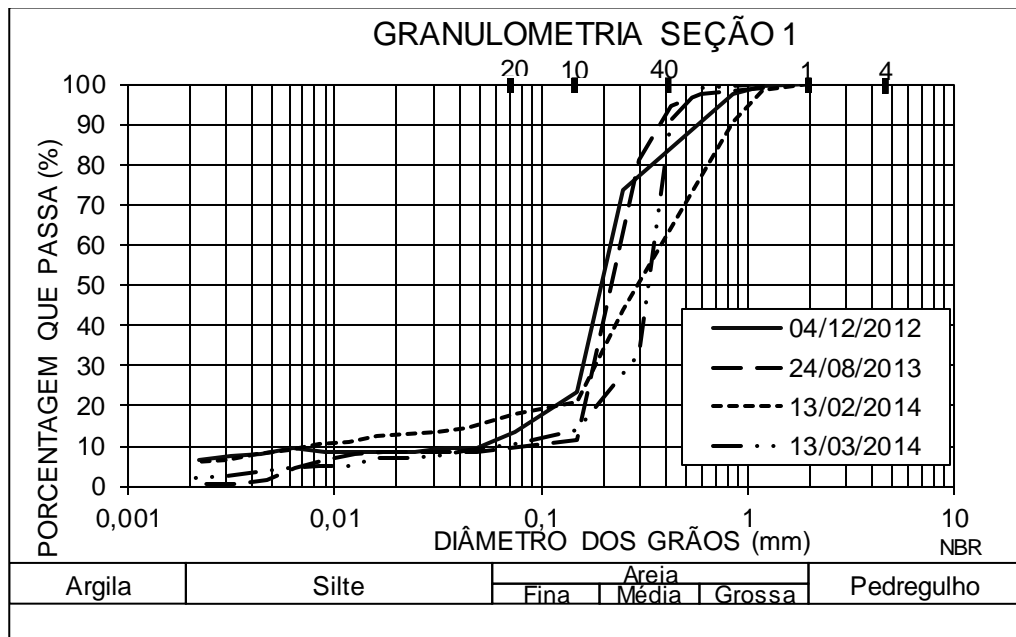
**Tabela 2: Datas da realização das campanhas de medições de vazão.**

<b>Campanha</b>	<b>Data</b>
1 <sup>a</sup>	21/08/2012
2 <sup>a</sup>	07/11/2012
3 <sup>a</sup>	29/01/2013
4 <sup>a</sup>	23/05/2013
5 <sup>a</sup>	09/08/2013
6 <sup>a</sup>	06/09/2013
7 <sup>a</sup>	25/10/2013
8 <sup>a</sup>	27/11/2013
9 <sup>a</sup>	19/12/2013
10 <sup>a</sup>	24/01/2014

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

As análises de granulometria foram realizadas para cada seção dos rios em estudo, totalizando quatro análises para cada seção, desta forma foram construídos gráficos para cada amostra coletada. Na Figura 5 e apresentada a curva granulométrica para seção 1 no rio do campo, onde se verifica que as curvas seguem a mesma tendência variando pouco à porcentagem de argila, silte e areia para as quatro campanhas de granulometria.



**Figura 5: Gráfico da granulometria da Seção 1.**

Na Tabela 3 é apresentada a porcentagem do tamanho de sedimentos para seção 1, tendo a maior concentração para argila no dia 04/12/2012 com 7%, para silte a maior porcentagem foi 10% para o dia 13/02/2014 e para areia 91%. De acordo com a tabela 3 constata-se que a areia teve a menor variação, constituindo aproximadamente 90% do sedimento de fundo da seção 1.

Tabela 3: Porcentagem do tamanho das partículas de sedimento para seção 1.

Coleta	Data	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
1 <sup>a</sup>	04/12/2012	7	3	90
2 <sup>a</sup>	24/08/2013	1	8	91
3 <sup>a</sup>	13/02/2014	6	10	84
4 <sup>a</sup>	13/03/2014	3	7	90
<b>Média</b>		4,3	7,0	88,8

Para seção 2 a curva granulométrica obteve a mesma tendência para os dias 24/08/2013, 13/02/2014 e 13/03/2014, entretanto a curva do dia 04/12/2012 conforme ilustra a Figura 6, não segue a tendência das outras datas de coleta, apresentando um sedimento com maior porcentagem de argila e silte.

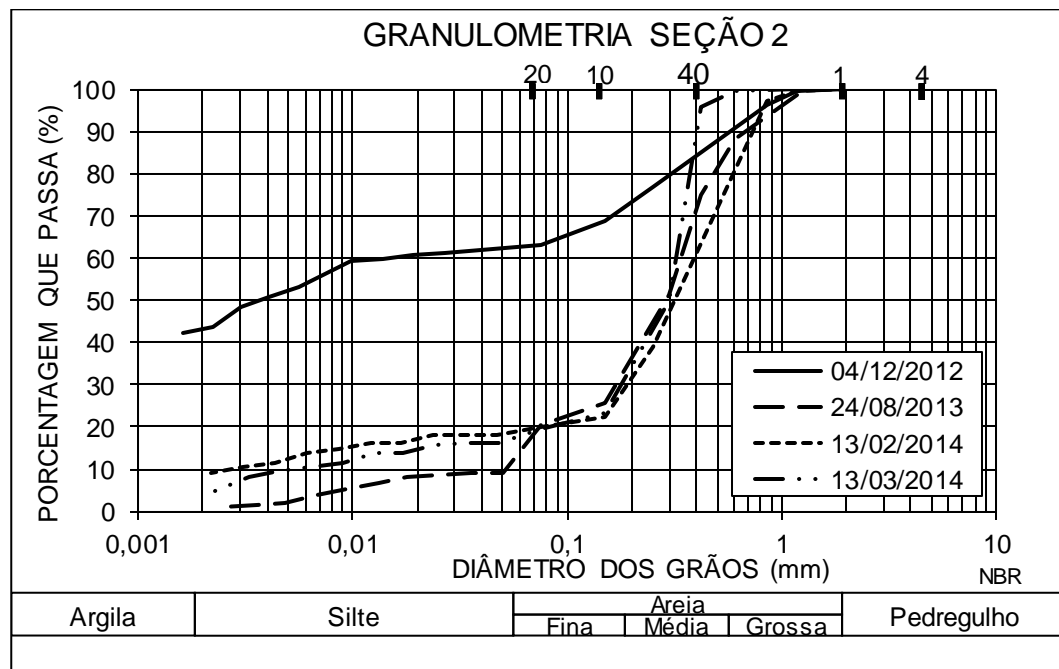


Figura 6: Gráfico da granulometria da Seção 2.

Essa diferença da granulometria do dia 04/12/2012, pode ter sucedido devido ao sedimento ser antigo, tendo-se acumulado a um período de pouca precipitação aproximadamente 374,70 mm para a soma dos meses de julho a novembro de 2012, período que antecedeu a 1<sup>o</sup> campanha como indicado na Tabela 4. Porém no período entre a primeira e a segunda coleta ocorreu um longo período

chuvoso com a soma das precipitações em torno de 2004,80 mm para de janeiro a julho de 2013, aumentando a vazão e o nível do rio, acarretando no carregamento do sedimento antigo, acontecendo um processo de lavagem no leito do rio, causando alteração na granulometria.

Visualizando a Figura 1, verifica-se que a seção 2 está em uma área de transição entre Latossolos Vermelhos e Argissolos Vermelhos-Amarelos, justificando a predominância de argila no sedimento para a granulometria do 04/12/2014.

**Tabela 4: Alturas Mensais de precipitação (mm) para estação Mamborê.**

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2012	238,2	146,7	177,5	260,0	77,1	413,7	72,6	3,5	46,7	152,0	99,9	216,5
2013	186,5	629,4	301,2	84,4	185,4	487,6	130,3	8,4	74,3	170,1	128,2	155,3
2014	201,8	44,1	325,6	161,9	205,2	371,8	127,6	-	-	-	-	-

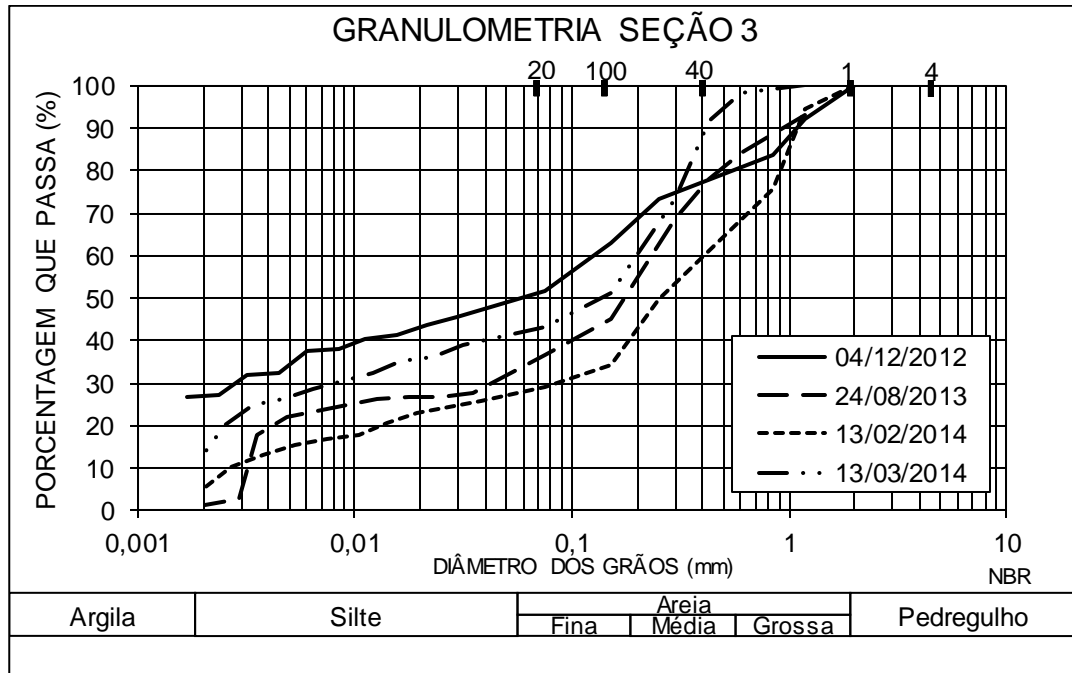
Fonte: Águas Paraná 2014.

Analisando os resultados da análise granulométrica para seção 2, nota-se uma predominância de argila para 1ª coleta em torno de 42%, enquanto para as demais coletas a predominância foi a areia. 89% para 2ª coleta e 82% para 3ª e 4ª coleta, conforme a Tabela 5.

**Tabela 5: Porcentagem do tamanho das partículas de sedimento para seção 2.**

Coleta	Data	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
1ª	04/12/2012	42	21	37
2ª	24/08/2013	2	9	89
3ª	13/02/2014	9	9	82
4ª	13/03/2014	5	13	82
<b>Média</b>		14,5	13	72,5

A curva de granulometria da seção 3 apresenta uma concentração de argila de 27% para o dia 04/12/2012, como ilustrado no gráfico da Figura 7. Esta diferença do sedimento em relação às demais datas, pode estar relacionada aos eventos chuvosos que ocorrem após a 1ª coleta (Tabela 4), como ocorrido na seção 2.



**Figura 7: Gráfico da granulometria da seção 3.**

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da granulometria para a seção 3, pode notar que o sedimento tem a maior concentração de silte, comparando com as seções 1 e 2, porém a predominância no sedimento é de areia.

**Tabela 6: Porcentagem do tamanho das partículas de sedimento para seção 3.**

Coleta	Data	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
1 <sup>a</sup>	04/12/2012	27	23	50
2 <sup>a</sup>	24/08/2013	2	28	70
3 <sup>a</sup>	13/12/2014	5	23	72
4 <sup>a</sup>	13/03/2014	11	29	60
<b>Média</b>		11,25	25,75	63

## 5.2 MASSA ESPECÍFICA

Na Tabela 7 são apresentados os resultados da massa específica dos grãos de solo para as seções em estudo, onde para seção 1 e seção 2 as médias ficaram bem próximas, 2,795 g/cm<sup>3</sup> e 2,710 g/cm<sup>3</sup> respectivamente. A seção 3 possui um

leito formado por pedras e sedimento com presença de pedregulhos, tomando uma massa específica com um valor mais elevado comparando com as demais seções, assumindo uma média de 3,128 g/cm<sup>3</sup>.

**Tabela 7: Resultado da massa específica dos grãos para as seções em estudo.**  
**MASSA ESPECÍFICA (g/cm<sup>3</sup>)**

Coleta	Data	Seção 1	Seção 2	Seção 3
1 <sup>a</sup>	10/12/2012	2,652	2,707	3,101
2 <sup>a</sup>	27/06/2013	2,723	2,760	3,164
3 <sup>a</sup>	31/01/2014	2,827	2,708	3,049
4 <sup>a</sup>	12/13/2014	2,979	2,664	3,199
	Média	2,795	2,710	3,128

### 5.3 VAZÃO E CURVA CHAVE

Curva-chave é uma relação nível-vazão numa determinada seção do rio. Dado o nível do rio na seção para a qual a expressão foi desenvolvida, obtém-se a vazão. Não é apenas o nível da água que influencia a vazão, a declividade do rio, a forma da seção (mais estreita ou mais larga) também alteram a vazão, ainda que o nível seja o mesmo (PORTO; ZAHED FILHO; SILVA, 2001).

Porto, Zahed Filho e Silva (2001) afirmam que tais variáveis são geralmente constantes ao longo do tempo para uma determinada seção, a única variável temporal é o nível. Desta forma, uma vez calibrada tal expressão, a monitoração da vazão do rio no tempo fica muito mais simples e rápida, sendo calculada apenas com a diferença de nível com a equação da curva chave obtida nos gráficos.

A Tabela 8 traz os resultados das vazões e da profundidade máxima das seções para geração dos gráficos da curva chave. Analisando os dados da Tabela 8, pode-se constatar que as maiores vazões aconteceram nos dias 23/05/2013 e 09/08/2013 para as três seções. Para os dias 23/05/2013 e 09/08/2013 também apresentaram as maiores profundidades.



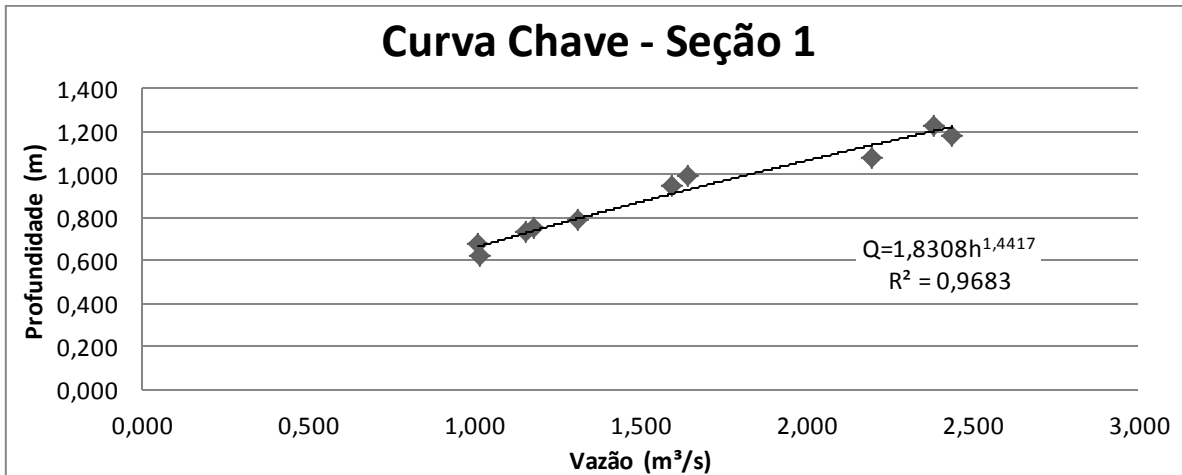
**Tabela 8: Dados de vazão e profundidade máxima das seções para elaboração da curva chave.**

DATA	SEÇÃO 1		SEÇÃO 2		SEÇÃO 3	
	Vazão (m³/s)	Prof.Máxima (m)	Vazão (m³/s)	Prof.Máxima (m)	Vazão (m³/s)	Prof.Máxima (m)
21/08/2012	1,648	0,990	2,500	1,100	2,917	1,100
07/11/2012	1,023	0,620	1,293	0,990	1,603	1,150
29/01/2013	1,017	0,680	1,351	0,980	2,830	1,210
23/05/2013	2,443	1,180	3,872	1,220	3,438	1,380
09/08/2013	2,387	1,230	4,422	1,250	6,434	1,400
06/09/2013	1,597	0,950	3,143	1,160	3,126	1,220
25/10/2013	2,203	1,080	2,213	1,100	2,266	1,060
27/11/2013	1,185	0,750	1,337	0,890	1,305	1,000
19/12/2013	1,160	0,730	1,230	0,920	1,653	1,080
24/01/2014	1,318	0,790	1,813	1,020	2,091	1,200

Como já citado anteriormente, conseguiu-se uma série de 10 campanhas de medições de vazões para geração da curva chave, porém essas campanhas ocorreram num período de aproximadamente 15 meses, não obedecendo a uma regularidade nos períodos entre as coletas, fato esse devido à disponibilidade de veículos, condições climáticas (chuvas, enchentes, frio) que afetam o acesso às seções de estudo e também compatibilidade de horários livres das pessoas responsáveis para realização das medições de vazões, assim conseqüentemente não se obteve dados de vazão nos períodos de cheia nos rios.

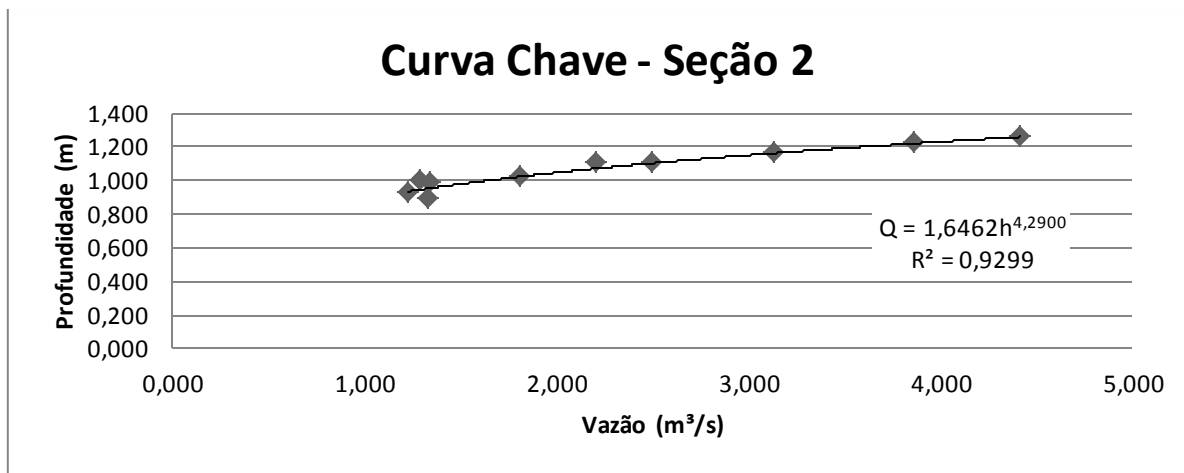
Com os dados obtidos foram gerados três gráficos, um para cada seção representando as respectivas curvas chaves.

A Figura 8 exibe a curva chave para seção 1 no rio do Campo mostrando uma boa relação entre a profundidade máxima e a vazão, onde as maiores vazões ocorreram com as maiores profundidades, alcançando um valor de  $R^2=0,9683$  para equação  $Q=1,8308h^{1,4417}$ , onde para alcançar os valores de vazão (Q), é necessário apenas substituir o valor da profundidade máxima (h) na equação da curva



**Figura 8: Gráfico da curva chave da seção 1.**

Analisando o gráfico da Figura 9, pode-se perceber que a curva chave para seção 2, no rio Mourão teve uma boa relação entre a profundidade máxima e a vazão, com um valor para  $R^2=0,9299$  para equação  $Q=1,6462h^{4,2900}$ , como ocorrido na seção 1 as maiores vazões foram compatíveis com as maiores profundidades.



**Figura 9: Gráfico da curva chave da seção 2.**

Na seção 3, no rio Sem passo, a curva chave não seguiu a tendência das maiores vazões com as maiores profundidades como era o esperado. A seção 3 tem um leito constituído de pedras, por sua vez devido ao tamanho elevado dessas pedras, aproximadamente 1m de diâmetro, traz para a seção uma complexidade para geração da curva chave, pois com o a presença de pedras no leito pode formar

remansos em alguns trechos e corredeiras em outros, não tendo a relação das maiores vazões para as maiores profundidades. A equação obtida para seção 3 foi  $Q=1,544h^{5,1229}$ , e o  $R^2=0,6781$ , um valor baixo o que causa uma baixa eficiência para a curva chave da seção como mostrado na Figura 10.

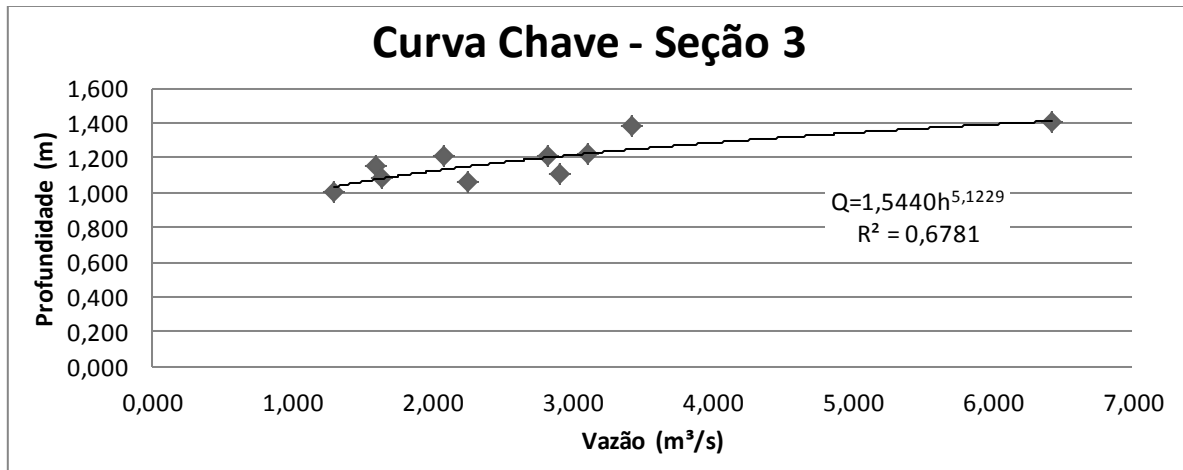


Figura 10: Gráfico da curva chave da seção 3.

## 5.4 CÁLCULO DA DESCARGA DE SEDIMENTO

### 5.4.1 Suspensão e de fundo

A Tabela 9 apresenta os resultados da descarga de sedimentos de fundo e em suspensão para a seção 1 no Rio do Campo. Para a descarga de fundo os métodos utilizados mostraram valores bem aproximados, obtendo-se médias de 0,2725 Kg/s; 0,1729 Kg/s, 0,1257Kg/s, 0,1508 Kg/s e 0,1958 Kg/s para a 1ª, 2ª, 3ª, 4ª e 5ª coleta respectivamente (Apêndice C).

Os resultados obtidos através dos métodos utilizados para o cálculo da descarga em suspensão não ofereceram variação apresentando médias de 0,1782 Kg/s, 0,0993, 0,0654 Kg/s, 0,0782 Kg/s e 0,1086 Kg/s respectivamente. Comparando os resultados experimentais com os resultados da carga em suspensão calculada, nota-se que as maiores concentrações, tanto experimentais quanto calculadas não ocorrem na mesma data, onde apresenta um valor máximo

de 0,1782 Kg/s para média dos métodos no dia 29/01/2012 e um valor máximo de 0,1653 Kg/s para os resultados experimentais no dia 19/12/2013.

Esse fato pode ser explicado através de um efeito conhecido como *wash load*. As partículas do *wash load* estão permanentemente em suspensão devido à baixa velocidade terminal e são, por isso, transportadas a longas distâncias.

Segundo Adriolo et al. (2008), com relação ao transporte de sedimentos pelos rios, considera-se que uma parcela da carga detrítica dos cursos de água é proveniente da ação erosiva que o movimento da água exerce sobre as margens e o fundo do leito (*bed load*). Entretanto, a maior parte é fornecida pela remoção detrítica das vertentes (*wash load*), ou seja, é proveniente dos processos erosivos que ocorrem na bacia.

Assim, reconhece-se que o transporte de sedimentos é governado pelos fatores hidrológicos que controlam as características e o regime do escoamento superficial e pelas características das partículas que compõem a carga de sedimentos (ADRIOLO et al., 2008).

Desta forma, pode-se verificar que, não necessariamente, ocorrerá a maior concentração de partículas em suspensão nos dias de maiores vazões.

**Tabela 9: Estimativa da descarga de sedimento para a seção 1.**

Seção 1		29/01/2013	09/08/2013	27/11/2013	19/12/2013	24/01/2014
Coleta		1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>
Fundo (kg.s <sup>-1</sup> )	Dubois e Zeller (1963)	0,3220	0,1692	0,1086	0,1379	0,1944
	Einstein (1942) com Peter-Meyer	0,2230	0,1766	0,1428	0,1637	0,1973
	Média	0,2725	0,1729	0,1257	0,1508	0,1958
Suspensão (kg.s <sup>-1</sup> )	Yang (1973)	0,0939	0,0699	0,0410	0,0490	0,0662
	Dubois e Zeller (1963) e Righetto (1998)	0,2607	0,1116	0,0670	0,0849	0,1289
	Einstein (1942) com Peter-Meyer e Righetto (1998)	0,1806	0,1165	0,0881	0,1008	0,1307
	Média	0,1782	0,0993	0,0654	0,0782	0,1086
	Experimental (kg.s <sup>-1</sup> )	0,0426	0,1506	0,1022	0,1653	0,0659

As Tabelas 10 e 11 representam os resultados para descarga de sedimentos para seção 2 e seção 3 respectivamente. Entre os métodos escolhidos, o método de

Dubois e Zeller não se adequou para essas seções, pois o perímetro das seções é grande, 9,569m em média para seção 2 e 12,332m em média para seção 3 (Apêndice A), levando em consideração os valores de vazão que são baixos, quando se efetua o cálculo, apresenta valores negativos, o que representa que não ocorre transporte de sedimentos. Nas Tabelas 10 e 11, onde não foi possível obter resultados, foi colocada a sigla N.O, (não ocorre).

**Tabela 10: Estimativa da descarga de sedimento para a seção 2.**

<b>Seção 2</b>		<b>29/01/2013</b>	<b>09/08/2013</b>	<b>27/11/2013</b>	<b>19/12/2013</b>	<b>24/01/2014</b>
<b>Coleta</b>		<b>1<sup>a</sup></b>	<b>2<sup>a</sup></b>	<b>3<sup>a</sup></b>	<b>4<sup>a</sup></b>	<b>5<sup>a</sup></b>
<b>Fundo</b> (kg.s <sup>-1</sup> )	Dubois e Zeller (1963)	N.O	0,3343	N.O	N.O	N.O
	Einstein (1942) com Peter-Meyer	0,0023	0,3592	0,0331	0,0151	0,0450
	Média	---	0,3468	---	---	---
<b>Suspensão</b> (kg.s <sup>-1</sup> )	Yang (1973)	0,0001	0,1203	0,0017	0,0005	0,0029
	Dubois e Zeller (1963) e Righetto (1998)	N.O	0,2392	N.O	N.O	N.O
	Einstein (1942) com Peter-Meyer e Righetto (1998)	0,0009	0,2569	0,0204	0,0086	0,0241
	Média	---	0,2055	---	---	---
	Experimental (kg.s <sup>-1</sup> )	0,0380	0,2708	0,0919	0,1514	0,0725

**Tabela 11: Estimativa da descarga de sedimento para a seção 3.**

<b>Seção 3</b>		<b>29/01/2013</b>	<b>09/08/2013</b>	<b>27/11/2013</b>	<b>19/12/2013</b>	<b>24/01/2014</b>
<b>Coleta</b>		<b>1<sup>a</sup></b>	<b>2<sup>a</sup></b>	<b>3<sup>a</sup></b>	<b>4<sup>a</sup></b>	<b>5<sup>a</sup></b>
<b>Fundo</b> (kg.s <sup>-1</sup> )	Dubois e Zeller (1963)	N.O	1,6921	N.O	N.O	N.O
	Einstein (1942) com Peter-Meyer	0,0774	0,9179	0,0432	0,0508	0,0530
	Média	---	1,3050	---	---	---
<b>Suspensão</b> (kg.s <sup>-1</sup> )	Yang (1973)	0,0064	0,5126	0,0022	0,0031	0,0033
	Dubois e Zeller (1963) e Righetto (1998)	N.O	1,4938	N.O	N.O	N.O
	Einstein (1942) com Peter-Meyer e Righetto (1998)	0,0382	0,8103	0,0358	0,0416	0,0406
	Média	---	0,9389	---	---	---
	Experimental (kg.s <sup>-1</sup> )	0,1344	0,3298	0,1077	0,1901	0,0766

Na Tabela 12 os resultados para as concentrações para a descarga em suspensão estão em ppm (partículas por milhão), onde as médias entre os métodos foi de 175,37 ppm, 41,62 ppm, 55,16 ppm, 67,44 ppm e 82,41 ppm respectivamente para a 1ª, 2ª, 3ª, 4ª e 5ª coleta, em contrapartida, como ocorrido com a descarga de fundo e suspensão em kg/s, pode-se estabelecer que as seções em estudo vem sofrendo com o efeito *wash load*. Para explicar melhor esse efeito, foi calculado um adimensional, o número de Froude (Equação 16).

**Tabela 12: Concentrações calculadas e experimentais para seção 1.**

Seção 1		29/01/2013	09/08/2013	27/11/2013	19/12/2013	24/01/2014
Coleta		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
Suspensão (ppm) Righetto (1998)	Número de Froude	0,2004	0,1403	0,1645	0,1757	0,1804
	Dubois e Zeller (1963)	256,27	46,78	56,53	73,17	97,77
	Einstein (1942) com Peter-Meyer	177,51	48,81	74,38	86,87	99,20
	Yang (1973)	92,33	29,27	34,58	42,28	50,25
	Média	175,37	41,62	55,16	67,44	82,41
	Experimental	41,87	63,12	86,25	142,50	50,00

O resultado obtido para o número de Froude foi 0,2004 para 1ª coleta, 0,1403 para 2ª, 0,1645 para 3ª, 0,1757 para 4ª e 0,1804 na 5ª coleta. Analisando esses valores, é visto que todos são menores que 1, resultando em um escoamento subcrítico que é caracterizado por baixas velocidades, pouca turbulência, onde a onda gerada consegue se propagar para o sentido contrário à corrente, típicos de cursos d'água naturais com baixa declividade em regime normal. Desta forma que ocorre um remanso hidráulico.

Nas Tabelas 13 e 14 apresentam as concentrações em suspensão e experimentais para as seções 2 e 3 onde não foi possível concluir os cálculos através do método Dubois e Zeller (1963) que não alcançou valores representativos, pois a vazão dessas seções é baixa em relação ao perímetro, e também devido ao número de Froude ser menor que 1, tem-se o regime subcrítico, podendo ocorrer remansos, dificultando o transporte de sedimentos.

**Tabela 13: Concentrações calculadas e experimentais para seção 2.**

<b>Seção 2</b>		<b>29/01/2013</b>	<b>09/08/2013</b>	<b>27/11/2013</b>	<b>19/12/2013</b>	<b>24/01/2014</b>
<b>Coleta</b>		<b>1<sup>a</sup></b>	<b>2<sup>a</sup></b>	<b>3<sup>a</sup></b>	<b>4<sup>a</sup></b>	<b>5<sup>a</sup></b>
Número de Froude		0,0715	0,1495	0,1058	0,0909	0,1030
Duboys e Zeller (1963)		---	100,21	---	---	---
<b>Suspensão (ppm) Righetto (1998)</b>	Einstein (1942) com Peter-Meyer	0,88	107,66	17,18	7,42	18,32
	Yang (1973)	0,05	27,20	1,28	0,44	1,61
	Média	---	78,36	---	---	---
	Experimental	28,12	61,25	68,75	123,12	40,00

**Tabela 14: Concentrações calculadas e experimentais para seção 3.**

<b>Seção 3</b>		<b>29/01/2013</b>	<b>09/08/2013</b>	<b>27/11/2013</b>	<b>19/12/2013</b>	<b>24/01/2014</b>
<b>Coleta</b>		<b>1<sup>a</sup></b>	<b>2<sup>a</sup></b>	<b>3<sup>a</sup></b>	<b>4<sup>a</sup></b>	<b>5<sup>a</sup></b>
Número de Froude		0,0982	0,1865	0,1067	0,0939	0,0883
Duboys e Zeller (1963)		---	625,94	---	---	---
<b>Suspensão (ppm) Righetto (1998)</b>	Einstein (1942) com Peter-Meyer	37,58	339,55	30,18	35,88	30,79
	Yang (1973)	2,56	79,67	1,67	1,89	1,60
	Média	---	348,38	---	---	---
	Experimental	53,75	51,25	82,50	115,00	36,62

#### 5.4.2 Relação entre Número de Froude e Descarga de Sedimento

Baseado na tendência de diminuição dos valores de velocidade média e número de Froude modificam sobremaneira as interações entre o escoamento e as partículas do meio, sendo que tal fato regula em termos hidrodinâmicos uma complexa ligação de processos de erosão, transporte e deposição fluvial que modifica continuamente os sistemas ambientais (físicos e bióticos), com consequências passageiras ou de milhares de anos (CHRISTOFOLETTI, 1999).

As condições do fluxo apresentaram resultados significativos na determinação dos ambientes fluviais. Pelo número de Froude pôde-se realizar uma classificação mais precisa do comportamento do corpo hídrico, auxiliando no

entendimento do comportamento de cada seção em estudo, elevando o nível de detalhamento de variáveis hidráulicas.

Observando a Tabela 15, nota-se que os valores para o número de Froude estão entre zero e 0,2, o que para muitos autores correspondem a áreas de remanso com fluxo relativamente lento ou também trechos planos de baixa energia.

**Tabela 15: Resultados para o número de Froude e concentração de sedimentos em ppm.**

	Data	29/01/2013	09/08/2013	27/11/2013	19/12/2013	24/01/2014
<b>Seção 1</b>	Froude	0,2004	0,1403	0,1645	0,1757	0,1804
	Dubois	256,27	46,78	56,53	73,17	97,77
	Einstein	177,51	48,81	74,38	86,87	99,2
	Experimental	41,87	63,12	86,25	142,5	50
<b>Seção 2</b>	Froude	0,0715	0,1495	0,1058	0,0909	0,103
	Dubois	---	100,21	---	---	---
	Einstein	0,88	107,66	17,18	7,42	18,32
	Experimental	28,12	61,25	68,75	123,12	40
<b>Seção 3</b>	Froude	0,0982	0,1865	0,1067	0,0939	0,0883
	Dubois	---	625,94	---	---	---
	Einstein	37,58	339,55	30,18	35,88	30,79
	Experimental	53,75	51,25	82,5	115	36,62

Com os resultados obtidos foram gerados gráficos de relação entre o número de Froude, e as concentrações teóricas calculadas pelos métodos de cálculos utilizados (Dubois, Einstein) e os resultados experimentais. Conforme nota-se na Tabela 15, a única seção que pode ser feita a relação para todos os métodos e a seção 1. A seção 2 e seção 3 só proporcionaram a relação entre o número de Froude X Einstein e Froude X Experimental.

Para a seção 1, o gráfico da Figura 11 mostra que o método de Einstein com Peter Meyer apresentou uma melhor relação apresentando uma curva com  $R^2=0,9446$ . Isso mostra que a descarga de sedimento aumenta de acordo com número de Froude. O método de Dubois e Zeller não se mostrou tão eficiente, porém ainda possui uma relação coerente, com  $R^2=0,7893$ . A relação entre os dados experimentais e Froude não se mostrou coerente, isso pode ser explicado devido a problemas relacionados aos experimentos, tendo possíveis falhas durante sua realização.



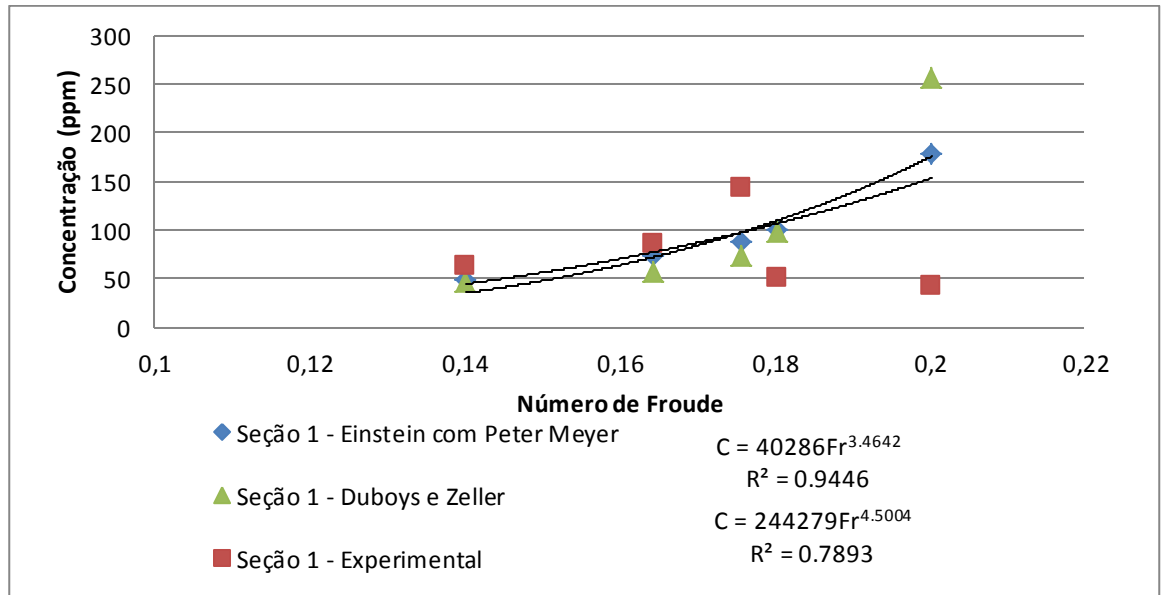


Figura 11: Gráfico da relação entre descarga de sedimento e o número de Froude para seção 1.

Na seção 2 não foi possível realizar a relação entre Froude e Duboys e Zeller, como já foi exposto anteriormente esse método não apresentou valores positivos devido a baixos valores de vazão e um valor elevado para o perímetro da seção. A relação entre Froude e Einstein com Peter Meyer também se manteve coerente com  $R^2=0,9680$  como ilustrado na Figura 12.

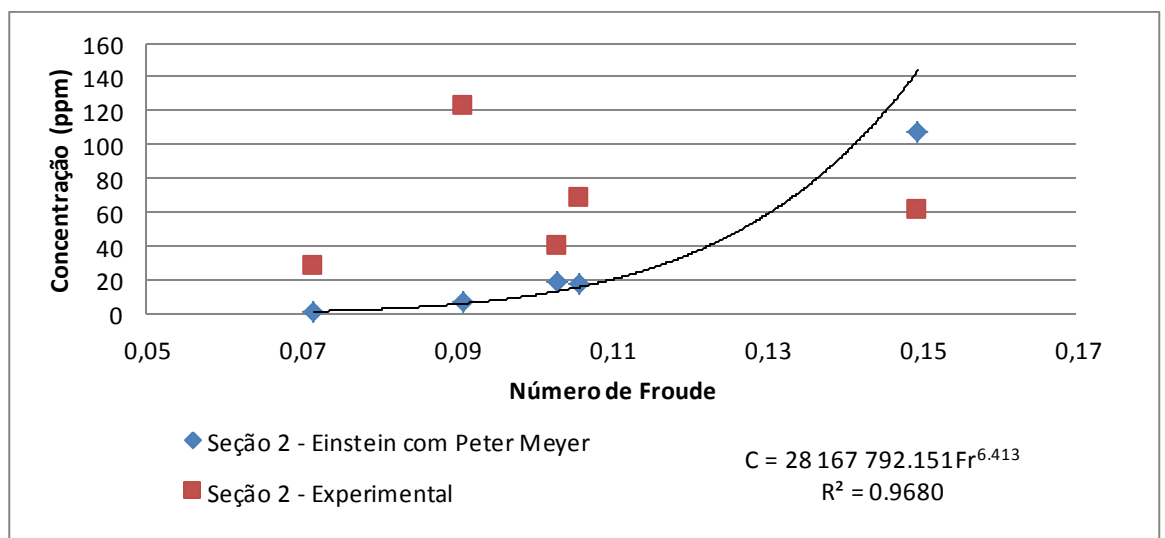


Figura 12: Gráfico da relação entre descarga de sedimento e o número de Froude para seção 2.

A seção 3 apresenta uma boa relação entre Froude e Einstein com Peter Meyer com um valor para o  $R^2$  de 0,9358, porém como na seção 2, o número de Froude não pode ser correlacionado com os resultados experimentais, podendo ser observado na Figura 13.

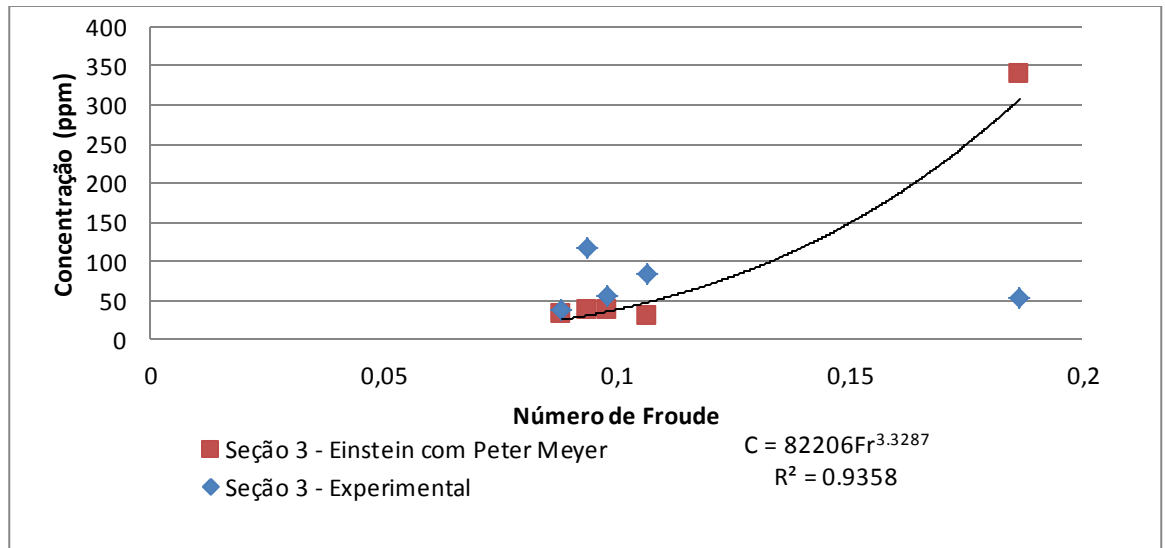


Figura 13: Gráfico da relação entre descarga de sedimento e o número de Froude para seção 3.

## 6 CONCLUSÕES

Como o trabalho foi realizado em três rios distintos dentro da bacia hidrográfica do rio Mourão, e cada rio tem comportamento, tamanho da seção e tipo de sedimentos diferentes, verificou-se dificuldade para realização dos ensaios, uma vez que os métodos utilizados não atendem todas as seções.

Entre os métodos utilizados para estimativa da descarga de sedimentos, o método de Duboys e Zeller adequou-se somente para a seção 1, este fato comprova que ele é eficiente para rios de pequeno porte. No caso de rios com perímetros maiores, com valor elevado de vazão, este método não detecta a descarga de sedimento. O método de Einstein (1942) com Peter-Meyer pode ser calculado para todas as seções, podendo ser recomendado para os rios em estudo.

Para auxiliar no entendimento do transporte de sedimentos, uma das alternativas foi utilizar o número de Froude, calculado através das características de cada seção. De acordo com o resultado do número de Froude, as três seções apresentaram um escoamento subcrítico, pois obteve Froude  $< 1$ , este tipo de escoamento é caracterizado pelas velocidades menores, pouca turbulência, ausência de ondas superficiais, típico dos cursos d'água naturais com baixa declividade, ajudando explicar a ineficácia do método Duboys e Zeller.

Os ensaios granulométricos trouxeram resultados aceitáveis, facilitando o cálculo da descarga de sedimento. Contudo o estudo mostrou que numa mesma bacia hidrográfica, pode ocorrer uma distinção nas características sedimentológicas, devido à formação do solo, pois cobertura vegetal e as ações antrópicas, impossibilitando que as metodologias atendam a todas as seções.

O estudo do transporte de sedimentos em rios é muito complexo, devido a inúmeros métodos de cálculo, métodos esses que por muitas vezes se tornam restritos a um tipo de rio, impossibilitando a comparação entre os modelos utilizados.

É recomendada a continuação desse trabalho, podendo aprofundar o estudo do transporte de sedimentos, adequando as metodologias, estudando o comportamento dos rios, aprofundando o levantamento da formação do sedimento de cada seção. O estudo da descarga de sedimento pode auxiliar na previsão e quantificação do sedimento transportado na bacia hidrográfica em estudo, na tomada de medidas locais de controle erosão e assoreamento, sendo importante

para o índice de qualidade da água e assim, evitar possíveis dificuldades no tratamento de água.

## REFERÊNCIAS

ADRIOLO, Marcos Vinicius. SANTOS, Irani dos. GIBERTONI, Rosana Colaço. CAMARGO, Arilde Sutil Gabriel de. CALIBRAÇÃO DO MODELO SWAT PARA A PRODUÇÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, n 06, 2008, Belo Horizonte - MG. **Anais...**, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: SOLO – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508: GRÃOS DE SOLOS QUE PASSAMNA PENEIRA 4.8 mm – DETERMINAÇÃO DE MASSA ESPECÍFICA**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: ROCHAS E SOLOS**. Rio De Janeiro, 1995.

Baldo, MC., 2006. **Variabilidade Pluviométrica e a Dinâmica Atmosférica na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí – PR**. Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista. 172p. Tese de Doutorado em Geografia.

Bigarella, JJ. and Mazuchowski, JZ. 1985. **Visão Integrada da Problemática da Erosão**. Curitiba: ADEA, ABGE, 332p.

BRANCO, N. **Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta**. 1998. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 1998.

CARNEIRO, Máisa, G. **Classificação da vulnerabilidade geoambiental e levantamento do uso e ocupação do solo da bacia do rio Mourão - PR**. 2014. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372 p.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008, 599 p.

CHEIN, I. The environment as a determinant of behavior. **The Journal of Social Psychology**, vol. 39, p. 115-27. 1954.

COIADO, E.M. IN: PAIVA, J. B. e PAIVA, E. M. C. D. (Orgs.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003. p.280-281.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Ed. Edgar Blucher, São Paulo, 1999.

DUBOYS, S. P. **Le Rhone et les rivieres a lit affoillable**. Annales des Ponts et Chaussees, Serie 5, Vol. 18, p. 141-195. 1879.

EINSTEIN, H. A. Formulas for the Transportation of Bed-Load, **Trans. Am. Soc. Civil Engrs.**, vol. 107. 1942.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília : Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2007. 306p.

FILHO, Geraldo L.; et al. **5ª Reunião, IMFIA** - Universidade da Republica do Uruguai, 11 a 14 de maio de 1999.

GRAÇA. Carlos Henrique da. **Monitoramento de Bacias Urbanas e Rurais, Análise Integrada da Qualidade da Água e Aspectos Socioeconômicos**: Bacia Hidrográfica do Rio Mourão. Campo Mourão - PR, 2013.

GUIMARÃES, Joyce Amorim. **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA VIDA ÚTIL DAS USINAS HIDRELÉTRICAS**. 2009. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 22 de janeiro de 2014.

ITCG -Instituto da Terras, Cartografia e Geociência.**Formações fotogeográficas**.2009. Disponível em:<[http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos\\_DGEO/Mapas\\_ITCG/PDF/Mapa\\_Fi\\_togeografico\\_A3.pdf](http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Fi_togeografico_A3.pdf)>. Acesso em: 12 jul. 2014.  
LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; SILVA, Euzebio Medrado da; CARVALHO, Newton de Oliveira. Comparação de Modelos Matemáticos para o Traçado de

Curvas Granulométricas de Sedimentos do Leito de Rios. **Rbrh – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 01, n. 11, p.91-98, 01 mar. 2006. Trimestral.

KÖPPEN, W. Climatologia. Com um estudo de los climas de la tierra. México. CE. 1948. p. 482-487.

LOPES, N.H.Y. **Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais com o modelo SWAT**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2008.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**, 3ª Ed. Curitiba: Imprensa Oficial do Paraná, 2002. 440 p.

MALDONADO, Luiz Henrique. **Validação experimental de metodologias para quantificação contínua de vazão no Ribeirão da Onça**. 2009. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos - SP, 2009.

MARCONDES, C.R. (2011). **Estudo de Descarga Sólida em Suspensão nos Cursos D'água da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí**. Itajubá, 2011. 78p. Dissertação – UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá-MG.

MEYER-PETER, E.; FAVRE, H.; EINSTEIN, A. **Neuere Versuchsergebnisse über den Geschiebetrieb**, Schweiz. Bauzeitung, vol 103, no 13. 1934.

MINEROPAR, **Atlas Geomorfológico Do Estado Do Paraná**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba 2001. Escala 1:500.000.

PARANÁ. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Atlas de recursos hídricos do Estado do Paraná**. Curitiba: SEMA, 1998.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica**. – 4. Ed. São Carlos: EESC – USP, 2006. [540] p.

PORTO, Rubem La Laina; ZAHED FILHO, Kamel; SILVA, Ricardo Martins da. **Medição de Vazão e Curva – Chave**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2001. 49 p

RICE, Eugeni.W.; BAIRD, Rodger B.; EATON, Andrew. D; CLESCERI, Lenore. S. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2012.

RICHTER, Carlos A.. **Água: Métodos e tecnologia de tratamento**. 1º edição São Paulo - Sp: Editora Blucher, 2009.

RIGHETTO, Antônio M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998.

RODRIGUES, Miriam Fernanda. **MONITORAMENTO E MODELAGEM DOS PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS FLORESTAIS NO SUL DO BRASIL**. 2011. 208 f. Dissertação De Mestrado - Departamento de Centro De Ciências Rurais, Universidade Federal De Santa Maria, Santa Maria - Rs, 2011.

SANTOS, Eduardo dos; GRIEBELER, Nori; OLIVEIRA, Luiz de. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - Pb, v. 14, n. 8, p.826-834, 15 mar. 2010.

SANTOS, I.; FILL, H.D. ; SUGAI, M.R.V.B.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F. **Hidrometria Aplicada**. Porto Alegre: Editora da ABRH, 2001. 371 p.

SCAPIN, Juliana; PAIVA, João Batista Dias de; BELING, Fábio A.. Avaliação de Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em um Pequeno Rio Urbano. **Rbrh — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Santa Maria, RS, v. 12, n. 4, p.05-21, dez. 2007. Trimestral.

Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **ÁGUAS PARANÁ** - Instituto das Águas do Paraná, Sistema de Informações Hidrológicas – SIH. Disponível em <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=264>> acesso em 18 de agosto de 2014.

SCHOKLITSCH, Armin. *Handbuch des Wasserbaus*, 2nd edn., Springer, Vienna, 257 pp., 1950.

TAVARES, Amarílis Rangel. Monitoramento da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul e diagnóstico de conservação. dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, São José dos Campos, São Paulo, 2005. 176pp.



UMEKI, Kelly Leiko; KURODA, Christopher Yuity; GENTIL, Victor Hugo Tsuda. Estudos dos Fenômenos de Transporte aplicado ao Transporte de Sedimentos. In: XIV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UTFPR, Pato Branco. 2009.

UMEKI, Kelly Leiko. **ESTUDOS DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA RIO DO CAMPO, CAMPO MOURÃO - PR.** 2012. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Utfpr - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão - Pr, 2012.

VESTENA, L.R. **Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem.** Florianópolis: UFSC/CTC/ENS, 2008. 264f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

ZELLER, J. **Einführung in den Sedimenttransport offeener Gerinne.** Schweiz. Bauzeitung, Jgg. 81. 1963.

**APÊNDICE A – Dados para o cálculo das características hidráulicas para as seções 1, 2 e 3.**

**Dados para o cálculo das características hidráulicas da seção 1.**

DATA	Vazão (m³/s)	Perímetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Largura (m)	d <sub>50</sub> (m)
21/08/2012	1,648	5,716	3,704	5,100	0,000200
07/11/2012	1,023	5,074	2,285	4,700	0,000200
29/01/2013	1,017	5,166	2,295	4,800	0,000220
23/05/2013	2,443	6,380	4,787	4,700	0,000220
09/08/2013	2,387	6,420	5,100	4,500	0,000300
06/09/2013	1,597	6,162	4,078	4,800	0,000300
25/10/2013	2,203	6,217	4,386	4,600	0,000300
27/11/2013	1,185	5,449	2,877	4,500	0,000300
19/12/2013	1,160	5,417	2,714	4,500	0,000330
24/01/2014	1,318	5,607	2,925	4,600	0,000330
<b>Média</b>	1,598	5,761	3,515	4,680	0,000270

**Dados para o cálculo das características hidráulicas da seção 2.**

DATA	Vazão (m³/s)	Perímetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Largura (m)	d <sub>50</sub> (m)
21/08/2012	2,500	8,965	7,423	9,000	0,000025
07/11/2012	1,293	8,530	6,382	7,700	0,000025
29/01/2013	1,351	9,490	6,942	9,200	0,0003000
23/05/2013	3,872	10,282	8,745	9,100	0,0003000
09/08/2013	4,422	11,200	9,360	9,200	0,0003100
06/09/2013	3,143	10,121	7,080	9,300	0,0003100
25/10/2013	2,213	9,714	6,808	8,800	0,0003100
27/11/2013	1,337	9,074	5,231	8,800	0,0003100
19/12/2013	1,230	9,120	5,456	8,700	0,0003000
24/01/2014	1,813	9,192	6,500	8,700	0,0003000
<b>Média</b>	2,317	9,569	6,993	8,850	0,000245

**Dados para o cálculo das características hidráulicas da seção 3.**

DATA	Vazão (m³/s)	Perímetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Largura (m)	d <sub>50</sub> (m)
21/08/2012	2,917	11,843	7,910	11,200	0,000060
07/11/2012	1,603	12,078	7,955	11,450	0,000060
29/01/2013	2,830	11,970	8,990	11,000	0,000180
23/05/2013	3,438	12,865	10,604	11,600	0,000180
09/08/2013	6,434	13,535	11,239	11,700	0,000250
06/09/2013	3,126	12,159	8,100	11,500	0,000250
25/10/2013	2,266	12,428	7,343	11,400	0,000250
27/11/2013	1,305	11,700	5,465	10,700	0,000250
19/12/2013	1,653	11,930	7,030	11,000	0,000150
24/01/2014	2,091	12,816	8,685	11,450	0,000150
<b>Média</b>	2,766	12,332	8,332	11,300	0,000178

## **APÊNDICE B – Cálculo das características hidráulicas**

**Cálculo das características hidráulicas para o dia 29/01/2013**

	Seção1	Seção 2	Seção 3
Data	<b>29/01/2013</b>		
$d$ (m)	0,00022	0,0003	0,00018
Vazão, $Q$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	1,017	1,35065	2,5005
Rugosidade de Manning, $n$	0,025	0,025	0,025
Largura, $B$ (m)	4,6	9,2	11,0
Area, $A$ ( $m^2$ )	2,295	6,942	8,990
Perímetro, $P$ (m)	5,17	9,49	11,97
$S_o = \left( \frac{n \cdot Q}{A^{5/3} P^{-2/3}} \right)^2$ , Teórica (Manning) ( $m \cdot m^{-1}$ )	0,0003623	0,0000359	0,0000708
$U$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	0,443	0,195	0,278
$q$ ( $m^3 \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$ )	0,221	0,147	0,227
$Rh$ (m)	0,444	0,732	0,751
$t_o = g \cdot Rh \cdot S_o$ ( $N \cdot m^{-2}$ )	1,579	0,258	0,522
$\frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d}$	0,47	0,06	0,19
$u^*$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	0,0397	0,0160	0,0228
Altura média, $h$ (m)	0,4989	0,7546	0,8173
Froude	0,2004	0,0715	0,0982
$Re^* = \frac{u_* \cdot d}{\nu}$	87,4	48,1	41,1
Ocor. Erosão	Sim	Sim	Sim

**Cálculo das características hidráulicas para o dia 09/08/2013**

	Seção1	Seção 2	Seção 3
Data	<b>09/08/2013</b>		
$d$ (m)	0,0003	0,00031	0,00025
Vazão, $Q$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	2,387	4,42159585	6,434230822
Rugosidade de Manning, $n$	0,025	0,025	0,025
Largura, $B$ (m)	4,5	9,2	11,7
Area, $A$ ( $m^2$ )	5,100	9,360	11,239
Perímetro, $P$ (m)	6,42	11,20	13,54
$S_o = \left( \frac{n \cdot Q}{A^{5/3} P^{-2/3}} \right)^2$ , Teórica (Manning) ( $m \cdot m^{-1}$ )	0,0001860	0,0001772	0,0002625
$U$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	0,468	0,472	0,572
$q$ ( $m^3 \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$ )	0,530	0,481	0,550
$Rh$ (m)	0,794	0,836	0,830
$t_o = g \cdot Rh \cdot S_o$ ( $N \cdot m^{-2}$ )	1,450	1,453	2,138
$\frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d}$	0,32	0,31	0,56
$u^*$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	0,0381	0,0381	0,0462
Altura média, $h$ (m)	1,1333	1,0174	0,9606
Froude	0,1403	0,1495	0,1865
$Re^* = \frac{u_* \cdot d}{\nu}$	114,2	118,1	115,6
Ocor. Erosão	Sim	Sim	Sim

**Cálculo das características hidráulicas para o dia 27/11/2013**

	Seção 1	Seção 2	Seção 3
Data	<b>27/11/2013</b>		
$d$ (m)	0,0003	0,00031	0,00025
Vazão, $Q$ ( $m^3 s^{-1}$ )	1,185	1,337	1,305
Rugosidade de Manning, $n$	0,025	0,025	0,025
Largura, $B$ (m)	4,5	8,8	10,7
Area, $A$ ( $m^2$ )	2,877	5,231	5,465
Perímetro, $P$ (m)	5,45	9,07	11,70
$S_o = \left( \frac{n \cdot Q}{A^{5/3} P^{-2/3}} \right)^2$ , Teórica (Manning) ( $m \cdot m^{-1}$ )	0,0002485	0,0000851	0,0000983
$U$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	0,412	0,256	0,239
$q$ ( $m^3 \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$ )	0,263	0,152	0,122
$Rh$ (m)	0,528	0,576	0,467
$\tau_o = \gamma \cdot Rh \cdot S_o$ ( $N \cdot m^{-2}$ )	1,287	0,481	0,451
$\frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d}$	0,28	0,10	0,12
$u^*$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	0,0359	0,0219	0,0212
Altura média, $h$ (m)	0,6393	0,5944	0,5107
Froude	0,1645	0,1058	0,1067
$Re^* = \frac{u_* \cdot d}{\nu}$	107,6	68,0	53,1
Ocor. Erosão	Sim	Sim	Sim

**Cálculo das características hidráulicas para o dia 19/12/2013**

	Seção1	Seção 2	Seção 3
Data	<b>19/12/2013</b>		
$d$ (m)	0,00033	0,0003	0,00015
Vazão, $Q$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	1,160	1,230	1,653
Rugosidade de Manning, $n$	0,025	0,025	0,025
Largura, $B$ (m)	4,50	8,70	11,00
Area, $A$ ( $m^2$ )	2,714	5,456	7,03
Perímetro, $P$ (m)	5,42	9,12	11,93
$S_o = \left( \frac{n \cdot Q}{A^{5/3} P^{-2/3}} \right)^2$ Teórica (Manning) ( $m \cdot m^{-1}$ )	0,0002869	0,0000630	0,0000699
$U$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	0,427	0,225	0,235
$q$ ( $m^3 \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$ )	0,258	0,141	0,150
$Rh$ (m)	0,501	0,598	0,589
$t_o = g \cdot Rh \cdot S_o$ ( $N \cdot m^{-2}$ )	1,410	0,370	0,404
$\frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d}$	0,28	0,08	0,18
$u^*$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	0,0376	0,0192	0,0201
Altura média, $h$ (m)	0,6031	0,6271	0,6391
Froude	0,1757	0,0909	0,0939
$Re^* = \frac{u_* \cdot d}{\nu}$	123,9	57,7	30,2
Ocor. Erosão	Sim	Sim	Sim



**Cálculo das características hidráulicas para o dia 24/01/2014**

	Seção1	Seção 2	Seção 3
Data	<b>24/01/2014</b>		
$d$ (m)	0,00033	0,0003	0,00015
Vazão, $Q$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	1,318	1,813	2,091
Rugosidade de Manning, $n$	0,025	0,025	0,025
Largura, $B$ (m)	4,60	8,70	11,45
Area, $A$ ( $m^2$ )	2,925	6,500	8,685
Perímetro, $P$ (m)	5,607	9,192	12,816
$S_o = \left( \frac{n \cdot Q}{A^{5/3} P^{-2/3}} \right)^2$ , Teórica (Manning) ( $m \cdot m^{-1}$ )	0,0003022	0,0000772	0,0000609
$U$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	0,451	0,279	0,241
$q$ ( $m^3 \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$ )	0,287	0,208	0,183
$Rh$ (m)	0,522	0,707	0,678
$t_o = g \cdot Rh \cdot S_o$ ( $N \cdot m^{-2}$ )	1,546	0,535	0,405
$\frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d}$	0,31	0,12	0,18
$u^*$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	0,0393	0,0231	0,0201
Altura média, $h$ (m)	0,6359	0,7471	0,7585
Froude	0,1804	0,1030	0,0883
$Re^* = \frac{u_* \cdot d}{\nu}$	129,8	69,4	30,2
Ocor. Erosão	Sim	Sim	Sim

**APÊNDICE C – Cálculo da descarga de sedimentos de fundo pelos métodos de Einstein com Peter-Meyer e Duboys e Zeller**

## Cálculo da descarga de sedimento de fundo para o dia 29/01/2013

	Seção 1	Seção 2	Seção 3	
Dubouys e Zeller	Data <b>29/01/2013</b>			
	$\tau_o$ (N.m <sup>-2</sup> )	1,579	0,258	0,522
	$\tau_{ocrit.}$ (kgf.m <sup>-2</sup> )	0,080	0,088	0,080
	$\tau_{ocrit.}$ (N.m <sup>-2</sup> )	0,78	0,86	0,78
	$\gamma_s \chi$ (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	5,4	4,3	6,2
	$\chi$ (m <sup>6</sup> .kg <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	0,00210	0,00166	0,00244
	$q_s = \frac{\chi \cdot \tau_o \cdot (\tau_o - \tau_{o,crit.})}{g^2} \cdot \rho_s$ (kg.s <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	0,06999	-0,00690	-0,00891
	$Q_s = q_s \cdot L$ (kg.s <sup>-1</sup> )	0,3220	Não ocorre	Não ocorre
Einstein (1942) com Peter-Meyer	$\Psi = \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\tau_o} \right) \cdot d_m$	2,133	17,823	5,279
	$\phi = \left( \frac{4}{\Psi} - 0,188 \right)^{3/2}$	2,193	0,007	0,430
	$w_s = \sqrt{\frac{3}{2} \cdot g \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) d_m}$	0,101	0,117	0,091
	$q_s = \phi \cdot \rho \cdot w_s$ (kg.s <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	0,048	0,000	0,007
	$Q_s = q_s \cdot L$ (kg.s <sup>-1</sup> )	0,2230	0,0023	0,0774

## Cálculo da descarga de sedimento de fundo para o dia 09/08/2013

	Seção 1	Seção 2	Seção 3	
Dubois e Zeller	Data <b>09/08/2013</b>			
	$\tau_o$ (N.m <sup>-2</sup> )	1,450	1,453	2,138
	$\tau_{ocrit.}$ (kgf.m <sup>-2</sup> )	0,088	0,089	0,082
	$\tau_{ocrit.}$ (N.m <sup>-2</sup> )	0,86	0,87	0,80
	$\gamma_s \chi$ (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	4,3	4,2	4,9
	$\chi$ (m <sup>6</sup> .kg <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	0,00166	0,00162	0,00191
	$q_s = \frac{\chi \cdot \tau_o \cdot (\tau_o - \tau_{ocrit.})}{g^2} \cdot \rho_s$ (kg.s <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	0,03761	0,03634	0,14463
	$Q_s = q_s \cdot L$ (kg.s <sup>-1</sup> )	0,1692	0,3343	1,6921
Einstein (1942) com Peter-Meyer	$\Psi = \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\tau_o} \right) \cdot d_m$	3,167	3,266	1,790
	$\phi = \left( \frac{4}{\Psi} - 0,188 \right)^{3/2}$	1,115	1,056	2,929
	$w_s = \sqrt{\frac{3}{2} \cdot g \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) d_m}$	0,117	0,119	0,107
	$q_s = \phi \cdot \rho \cdot w_s$ (kg.s <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	0,039	0,039	0,078
	$Q_s = q_s \cdot L$ (kg.s <sup>-1</sup> )	0,1766	0,3592	0,9179

## Cálculo da descarga de sedimento de fundo para o dia 27/11/2013

	Seção 1	Seção 2	Seção 3	
Duboys e Zeller	Data <b>27/11/2013</b>			
	$\tau_o$ (N.m <sup>-2</sup> )	1,287	0,481	0,451
	$\tau_{ocrit.}$ (kgf.m <sup>-2</sup> )	0,088	0,089	0,082
	$\tau_{ocrit.}$ (N.m <sup>-2</sup> )	0,86	0,87	0,80
	$\gamma_s \chi$ (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	4,3	4,2	4,9
	$\chi$ (m <sup>6</sup> .kg <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	0,00166	0,00162	0,00191
	$q_s = \frac{\chi \cdot \tau_o \cdot (\tau_o - \tau_{o,crit.})}{g^2} \cdot \rho_s$ (kg.s <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	0,02413	-0,00814	-0,00809
	$Q_s = q_s \cdot L$ (kg.s <sup>-1</sup> )	0,1086	Não ocorre	Não ocorre
Einstein (1942) com Peter-Meyer	$\Psi = \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\tau_o} \right) \cdot d_m$	3,567	9,858	8,491
	$\phi = \left( \frac{4}{\Psi} - 0,188 \right)^{3/2}$	0,902	0,102	0,151
	$w_s = \sqrt{\frac{3}{2} \cdot g \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) d_m}$	0,117	0,119	0,107
	$q_s = \phi \cdot \rho \cdot w_s$ (kg.s <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	0,032	0,004	0,004
	$Q_s = q_s \cdot L$ (kg.s <sup>-1</sup> )	0,1428	0,0331	0,0432

## Cálculo da descarga de sedimento de fundo para o dia 19/12/2013

	Seção 1	Seção 2	Seção 3	
Duboys e Zeller	Data <b>19/12/2013</b>			
	$\tau_o$ (N.m <sup>-2</sup> )	1,410	0,370	0,404
	$\tau_{ocrit.}$ (kgf.m <sup>-2</sup> )	0,090	0,088	0,079
	$\tau_{ocrit.}$ (N.m <sup>-2</sup> )	0,88	0,86	0,77
	$\gamma_s \chi$ (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	4,0	4,3	7,2
	$\chi$ (m <sup>6</sup> .kg <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	0,00155	0,00166	0,00280
	$q_s = \frac{\chi \cdot \tau_o \cdot (\tau_o - \tau_{o,crit.})}{g^2} \cdot \rho_s$ (kg.s <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	0,03063	-0,00807	-0,01115
	$Q_s = q_s \cdot L$ (kg.s <sup>-1</sup> )	0,1379	Não ocorre	Não ocorre
Einstein (1942) com Peter-Meyer	$\Psi = \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\tau_o} \right) \cdot d_m$	3,581	12,415	5,677
	$\phi = \left( \frac{4}{\Psi} - 0,188 \right)^{3/2}$	0,895	0,049	0,371
	$w_s = \sqrt{\frac{3}{2} \cdot g \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) d_m}$	0,123	0,117	0,083
	$q_s = \phi \cdot \rho \cdot w_s$ (kg.s <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	0,036	0,002	0,005
	$Q_s = q_s \cdot L$ (kg.s <sup>-1</sup> )	0,1637	0,0151	0,0508

## Cálculo da descarga de sedimento de fundo para o dia 24/01/2014

	Seção 1	Seção 2	Seção 3	
Dubouys e Zeller	Data <b>24/01/2014</b>			
	$\tau_o$ (N.m <sup>-2</sup> )	1,546	0,535	0,405
	$\tau_{ocrit.}$ (kgf.m <sup>-2</sup> )	0,090	0,088	0,079
	$\tau_{ocrit.}$ (N.m <sup>-2</sup> )	0,88	0,86	0,77
	$\gamma_s \chi$ (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	4,0	4,3	7,2
	$\chi$ (m <sup>6</sup> .kg <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	0,00155	0,00166	0,00280
	$q_s = \frac{\chi \cdot \tau_o \cdot (\tau_o - \tau_{o,crit.})}{g^2} \cdot \rho_s$ (kg.s <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	0,04227	-0,00777	-0,01115
$Q_s = q_s \cdot L$ (kg.s <sup>-1</sup> )	0,1944	Não ocorre	Não ocorre	
Einstein (1942) com Peter-Meyer	$\Psi = \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\tau_o} \right) \cdot d_m$	3,266	8,575	5,673
	$\phi = \left( \frac{4}{\Psi} - 0,188 \right)^{3/2}$	1,056	0,147	0,372
	$w_s = \sqrt{\frac{3}{2} \cdot g \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) d_m}$	0,123	0,117	0,083
	$q_s = \phi \cdot \rho \cdot w_s$ (kg.s <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	0,043	0,005	0,005
	$Q_s = q_s \cdot L$ (kg.s <sup>-1</sup> )	0,1973	0,0450	0,0530

## **APÊNDICE D – Cálculo do transporte de sedimentos em suspensão**



## Cálculo dos sedimentos em suspensão para dia 29/01/2013

	Seção1	Seção 2	Seção 3
	Data <b>29/01/2013</b>		
	R = 1,56	1,56	1,56
	$S_* = \frac{D_N}{4 \cdot \nu} \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot D_N}$	3,191323	5,081813
	$v_s = \frac{\sqrt{g \cdot R \cdot D_N}}{\left( A + \frac{B}{S_*} \right)}$	0,022680	0,034543
	$U_c = v_s \cdot \left( \frac{2.5}{\log(U_* \cdot d/\nu) - 0.06} + 0.66 \right) \text{ ou } 2,05$	0,046494	0,161508
	$a_1 = 5.435 - 0.286 \cdot \log\left(\frac{v_s \cdot d}{\nu}\right) - 0.457 \cdot \log\left(\frac{U_*}{v_s}\right)$	5,124	5,297
	$a_2 = 1.799 - 0.409 \cdot \log\left(\frac{v_s \cdot d}{\nu}\right) - 0.314 \cdot \log\left(\frac{U_*}{v_s}\right)$	1,437	1,488
	$\log(C_s) = a_1 + a_2 \cdot \log\left(\frac{U \cdot S}{v_s} - \frac{U_c \cdot S}{v_s}\right)$	1,965	-1,347
	Cs (ppm)	92,3	0,0
	$Q_s = Q \cdot C_s \text{ (kg.s}^{-1}\text{)}$	0,0939	0,0001
Suspensão	C <sub>o</sub> (Duboys e Zeller) (ppm)	29116	#VALOR!
	C <sub>o</sub> (Einstein com Peter Meyer) (ppm)	20167	307
	$w_s/K \cdot u^*$	6,323330	18,280795
	h(m)	0,4989133	0,754565
	zo (m)	0,0249457	0,037728
	INTEGRAL ( Calculadora HP)	0,0042	0,0021
Suspensão (ppm)	Duboys e Zeller	256,27	
	Einstein com Peter Meyer	177,51	0,88
	Yang	92,33	0,05
	Média	175,37	0,31
	Experimental	41,87	28,12

## Cálculo dos sedimentos em suspensão para dia 09/08/2013

	Seção1	Seção 2	Seção 3		
	Data <b>09/08/2013</b>				
	R = 1,56	1,56	1,56		
Yang	$S_* = \frac{D_N}{4 \cdot \nu} \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot D_N}$	5,081813	5,338009	3,865866	
	$v_s = \frac{\sqrt{g \cdot R \cdot D_N}}{\left( A + \frac{B}{S_*} \right)}$	0,034543	0,036001	0,027147	
	$U_c = v_s \cdot \left( \frac{2.5}{\log(U_* \cdot d/\nu) - 0.06} + 0.66 \right) \text{ ou } 2,05$	0,070814	0,073804	0,055652	
	$a_1 = 5.435 - 0.286 \cdot \log\left(\frac{v_s \cdot d}{\nu}\right) - 0.457 \cdot \log\left(\frac{U_*}{v_s}\right)$	5,125	5,124	5,091	
	$a_2 = 1.799 - 0.409 \cdot \log\left(\frac{v_s \cdot d}{\nu}\right) - 0.314 \cdot \log\left(\frac{U_*}{v_s}\right)$	1,370	1,363	1,386	
	$\log(C_s) = a_1 + a_2 \cdot \log\left(\frac{U \cdot S}{v_s} - \frac{U_c \cdot S}{v_s}\right)$	1,466	1,435	1,901	
	Cs (ppm)	29,3	27,2	79,7	
	$Q_s = Q \cdot C_s \text{ (kg.s}^{-1}\text{)}$	0,0699	0,1203	0,5126	
	Suspensão	C <sub>o</sub> (Dubois e Zeller) (ppm)	6382	13912	61540
		C <sub>o</sub> (Einstein com Peter Meyer) (ppm)	6660	14946	33383
$w_s/K \cdot u^*$		7,705985	7,825466	5,792538	
h(m)		1,1333333	1,017391	0,960598	
zo (m)		0,0566667	0,050870	0,048030	
INTEGRAL ( Calculadora HP)		0,00789123	0,006962	0,009281	
Suspensão (ppm)	Dubois e Zeller	46,78	100,21	625,94	
	Einstein com Peter Meyer	48,81	107,66	339,55	
	Yang	29,27	27,20	79,67	
	Média	41,62	78,36	348,38	
	Experimental	63,12	61,25	51,25	

## Cálculo dos sedimentos em suspensão para dia 27/11/2013

	Seção1	Seção 2	Seção 3		
	Data <b>27/11/2013</b>				
	R = 1,56	1,56	1,56		
Yang	$S_* = \frac{D_N}{4 \cdot \nu} \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot D_N}$	5,081813	5,338009	3,865866	
	$v_s = \frac{\sqrt{g \cdot R \cdot D_N}}{\left( A + \frac{B}{S_*} \right)}$	0,034543	0,036001	0,027147	
	$U_c = v_s \cdot \left( \frac{2.5}{\log(U_* \cdot d/\nu) - 0.06} + 0.66 \right) \text{ ou } 2,05$	0,070814	0,140264	0,120002	
	$a_1 = 5.435 - 0.286 \cdot \log\left(\frac{v_s \cdot d}{\nu}\right) - 0.457 \cdot \log\left(\frac{U_*}{v_s}\right)$	5,137	5,234	5,246	
	$a_2 = 1.799 - 0.409 \cdot \log\left(\frac{v_s \cdot d}{\nu}\right) - 0.314 \cdot \log\left(\frac{U_*}{v_s}\right)$	1,379	1,438	1,492	
	$\log(Cs) = a_1 + a_2 \cdot \log\left(\frac{U \cdot S}{v_s} - \frac{U_c \cdot S}{v_s}\right)$	1,539	0,108	0,222	
	Cs (ppm)	34,6	1,3	1,7	
	$Qs = Q \cdot Cs \text{ (kg.s}^{-1}\text{)}$	0,0410	0,0017	0,0022	
	Suspensão	C <sub>o</sub> (Duboys e Zeller) (ppm)	8245	#VALOR!	#VALOR!
		C <sub>o</sub> (Einstein com Peter Meyer) (ppm)	10849	4354	7079
$w_s/K \cdot u^*$		8,178536	13,59527	12,61750	
h(m)		0,639333	0,59443	0,51074	
z <sub>o</sub> (m)		0,031966	0,02972	0,02553	
INTEGRAL ( Calculadora HP)		0,0041638			
Suspensão (ppm)	Duboys e Zeller	56,53			
	Einstein com Peter Meyer	74,38	0,00	0,00	
	Yang	34,58	1,28	1,67	
	Média	55,16	0,43	0,56	
	Experimental	86,25	68,75	82,50	

## Cálculo dos sedimentos em suspensão para dia 19/12/2013

	Seção1	Seção 2	Seção 3		
	Data <b>19/12/2013</b>				
	R = 1,56	1,56	1,56		
Yang	$S_* = \frac{D_N}{4 \cdot \nu} \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot D_N}$	5,862835	5,081813	1,796692	
	$v_s = \frac{\sqrt{g \cdot R \cdot D_N}}{\left( A + \frac{B}{S_*} \right)}$	0,038890	0,034543	0,012596	
	$U_c = v_s \cdot \left( \frac{2.5}{\log(U_* \cdot d/\nu) - 0.06} + 0.66 \right) \text{ ou } 2,05$	0,079725	0,145972	0,083386	
	$a_1 = 5.435 - 0.286 \cdot \log\left(\frac{v_s \cdot d}{\nu}\right) - 0.457 \cdot \log\left(\frac{U_*}{v_s}\right)$	5,125	5,261	5,263	
	$a_2 = 1.799 - 0.409 \cdot \log\left(\frac{v_s \cdot d}{\nu}\right) - 0.314 \cdot \log\left(\frac{U_*}{v_s}\right)$	1,350	1,464	1,622	
	$\log(C_s) = a_1 + a_2 \cdot \log\left(\frac{U \cdot S}{v_s} - \frac{U_c \cdot S}{v_s}\right)$	1,626	-0,357	0,276	
	Cs (ppm)	42,3	0,4	1,9	
	$Q_s = Q \cdot C_s \text{ (kg.s}^{-1}\text{)}$	0,0490	0,0005	0,0031	
	Suspensão	C <sub>o</sub> (Dubois e Zeller) (ppm)	10696	#VALOR!	#VALOR!
		C <sub>o</sub> (Einstein com Peter Meyer) (ppm)	12698	2130	6766
$w_s/K \cdot u^*$		8,194207	15,256892	10,317398	
h(m)		0,6031111	0,627126	0,639091	
z <sub>o</sub> (m)		0,0301556	0,031356	0,031955	
INTEGRAL ( Calculadora HP)		0,0039195			
Suspensão (ppm)	Dubois e Zeller	73,17			
	Einstein com Peter Meyer	86,87	0,00	0,00	
	Yang	42,28	0,44	1,89	
	Média	67,44	0,15	0,63	
	Experimental	142,50	123,12	115,00	

## Cálculo dos sedimentos em suspensão para dia 24/01/2014

	Seção1	Seção 2	Seção 3		
	Data <b>24/01/2014</b>				
	R = 1,56	1,56	1,56		
Yang	$S_* = \frac{D_N}{4 \cdot \nu} \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot D_N}$	5,862835	5,081813	1,796692	
	$v_s = \frac{\sqrt{g \cdot R \cdot D_N}}{\left( A + \frac{B}{S_*} \right)}$	0,038890	0,034543	0,012596	
	$U_c = v_s \cdot \left( \frac{2.5}{\log(U_* \cdot d/\nu) - 0.06} + 0.66 \right) \text{ ou } 2,05$	0,079725	0,133307	0,083359	
	$a_1 = 5.435 - 0.286 \cdot \log\left(\frac{v_s \cdot d}{\nu}\right) - 0.457 \cdot \log\left(\frac{U_*}{v_s}\right)$	5,116	5,224	5,263	
	$a_2 = 1.799 - 0.409 \cdot \log\left(\frac{v_s \cdot d}{\nu}\right) - 0.314 \cdot \log\left(\frac{U_*}{v_s}\right)$	1,344	1,438	1,622	
	$\log(Cs) = a_1 + a_2 \cdot \log\left(\frac{U \cdot S}{v_s} - \frac{U_c \cdot S}{v_s}\right)$	1,701	0,208	0,204	
	Cs (ppm)	50,3	1,6	1,6	
	$Q_s = Q \cdot Cs \text{ (kg.s}^{-1}\text{)}$	0,0662	0,0029	0,0033	
	Suspensão	C <sub>o</sub> (Duboys e Zeller) (ppm)	13572	#VALOR!	#VALOR!
		C <sub>o</sub> (Einstein com Peter Meyer) (ppm)	13770	4320	5803
$w_s/K \cdot u^*$		7,825094	12,679915	10,313844	
h(m)		0,6358696	0,747126	0,758515	
z <sub>o</sub> (m)		0,0317935	0,037356	0,037926	
INTEGRAL ( Calculadora HP)		0,00435168			
Suspensão (ppm)	Duboys e Zeller	97,77			
	Einstein com Peter Meyer	99,20	0,00	0,00	
	Yang	50,25	1,61	1,60	
	Média	82,41	0,54	0,53	
	Experimental	50,00	40,00	36,62	