

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL  
ENGENHARIA AMBIENTAL**

**KELLY LEIKO UMEKI**

**ESTUDOS DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA  
HIDROGRÁFICA RIO DO CAMPO, CAMPO MOURÃO - PR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CAMPO MOURÃO**

**2012**

**KELLY LEIKO UMEKI**

**ESTUDOS DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA  
HIDROGRÁFICA RIO DO CAMPO, CAMPO MOURÃO - PR**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentada como requisito parcial à  
obtenção do título de Engenheira, da  
Coordenação de Engenharia Ambiental,  
da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eudes José Arantes  
Co-orientador: Prof. Dr. Jefferson de  
Queiroz Crispim

**CAMPO MOURÃO**

**2012**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Ponta Grossa  
Nome da Diretoria  
Nome da Coordenação  
Nome do Curso



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**ESTUDOS DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA RIO  
DO CAMPO, CAMPO MOURÃO - PR**

por

**KELLY LEIKO UMEKI**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 09 de Julho de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Eudes José Arantes  
Orientador

---

Prof. Dr. Jefferson de Queiroz Crispim  
Co-orientador

---

Prof. Dr. Luciano Fleischfresser  
Membro titular

---

Prof. Msc. Márcia Aparecida de Oliveira Seco  
Membro titular

-O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso-

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Prof. Dr. Eudes José Arantes, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Ao meu Co-orientador Prof. Dr. Jefferson de Queiroz Crispim, pelos conhecimentos a mim ofertados.

Aos meus colegas Alexandre Rafael Kelniar, Christopher Yuji Kuroda, Jéssica Luiza Bueno Trevizani e Maísa Gomes Carneiro, por toda ajuda durante a preparação deste trabalho.

Aos técnicos de laboratório Kássia Ayumi Segawa do Amaral e Marcelo Nunes de Jesus, pela paciência nos preparos das soluções utilizadas.

Aos meus pais, por toda estrutura oferecida, permitindo com que eu conseguisse passar por mais esta etapa.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

UMEKI, Kelly Leiko. **Estudos do transporte de sedimentos na bacia hidrográfica rio do Campo, Campo Mourão - PR.** 2012. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2012.

No presente trabalho é apresentado o estudo sobre o transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio do Campo, através de estudo sedimentológico das seções localizadas nesta bacia, inclusive dentro do Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, além de sugestão de trabalhos futuros para propor o manejo deste parque, o qual situa-se no município de Campo Mourão – PR. Para a descarga sólida suspensa, foram utilizados os métodos de Einstein (1942) com Peter-Meyer, Duboys e Zeller (1963), Yang (1973) e Righetto (1998), além de estimá-las experimentalmente e, as descargas de fundo foram calculadas a partir dos métodos de Einstein (1942) com Peter-Meyer e Duboys e Zeller (1963). O valor médio encontrado para a descarga de fundo na seção principal foi de 0,249 Kg/s. Quando aferida a descarga em suspensão teórica, o valor médio encontrado para a mesma seção foi de 0,285 Kg/s e 0,117 Kg/s para a descarga suspensa experimental. Este trabalho descartou as vazões de pico devido ao tempo insuficiente para o estudo, obtendo-se uma vida útil de 26 anos para o assoreamento total do reservatório. Para diminuir a concentração da descarga sólida dentro do mesmo, foi sugerida a implantação de chicanas e ilhas ao longo do lago.

**Palavras-chave:** Assoreamento. Transporte de sedimentos. Descarga sólida. Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira.

## ABSTRACT

UMEKI, Kelly Leiko. **Studies of the transport of sediment basing river Campo, Campo Mourão - PR.** 2012. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Federal Technology University - Parana. Campo Mourão, 2012.

In this graduate work is shown the study on the sediment transport in the river basin of the field through sedimentological study sections located in this basin, including in the Municipal Park Joaquim Teodoro de Oliveira and suggestions for future work to propose a management this park, which is located in Campo Mourao - PR. For the suspended solid discharge were evaluated using the Einstein (1942) with Peter-Meyer, Duboys and Zeller (1963), Yang (1973) and Righetto (1998), than estimate them experimentally and, background discharges were calculated using the methods of Einstein (1942) and Meyer-Peter Duboys and Zeller (1963). The mean value for the background discharges in the main section was 0.249 Kg/s. When measured the theoretical discharge suspension, the average value found for the same section was 0.285 Kg/s and 0.117 Kg/s for discharging suspended experiment. This work discarded peak flow rates due to insufficient time for the study, yielding a lifetime of 26 years for the total sedimentation tank. To decrease the concentration of the solid discharge within the same, it was suggested that implementation of chicanes and islands along the lake.

**Keywords:** Assoreament. Sediment transport. Solid discharge. Municipal Park Joaquim Teodoro de Oliveira.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica e do trecho em estudo. ....	17
Figura 2. Uso e ocupação do solo do município de Campo Mourão. ....	19
Figura 3. Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio do Campo. ....	20
Figura 4. Declividade do município de Campo Mourão – PR. ....	22
Figura 5. Avaliação dos parâmetros da Eq. 26. ....	27
Figura 6. Diagrama de Shields. ....	27
Figura 7. Localização das seções estudadas. ....	32
Figura 8. Características do entorno das seções estudadas. ....	33
Figura 9. Coleta de sedimentos na seção em estudo. ....	34
Figura 10. Camada de solo para análise granulométrica. ....	34
Figura 11. Determinação da vazão ao longo do canal utilizando o molinete fluviométrico de Newton. ....	35
Figura 12. Amostrador US-DH-48 do tipo integrador. ....	36
Figura 13. Granulometria do rio Água das Barras, rio do Campo e junção dos rios. ....	39
Figura 14. Granulometria do meio (início do reservatório). ....	40
Figura 15. Granulometria do lado direito do reservatório. ....	40
Figura 16. Granulometria do lado esquerdo do reservatório. ....	41
Figura 17. Rio Água das Barras. ....	43
Figura 18. Rio do Campo. ....	43
Figura 19. Junção dos rios. ....	44
Figura 20. Detalhes da seção após a junção entre o rio Água das Barras e rio do Campo. ....	48
Figura 21. Imagem das seções estudadas. Seção 1 – rio do Campo. Seção 2 – rio Água das Barras. ....	51
Figura 22. Proposta de manejo do Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira. ....	54

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1. Porcentagem do tamanho das partículas de cada segmento coletado.</b>	<b>41</b>
<b>Tabela 2. Diâmetro médio das partículas</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 3. Dados hidrométricos das seções em estudo</b>	<b>45</b>
<b>Tabela 4. Estimativas das descargas de sedimento para as seções de coleta</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 5. Concentrações calculadas e experimentais</b>	<b>47</b>
<b>Tabela 6. Parâmetros utilizados para o Diagrama de Shields</b>	<b>49</b>
<b>Tabela 7. Matéria orgânica nas seções coletadas</b>	<b>50</b>
<b>Tabela A.1: Planilha para Cálculos e Aplicação das Fórmulas</b>	<b>64</b>



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>12</b>
3.1 PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS .....	12
3.2 DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS EM CANAIS.....	12
3.3 DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS EM RESERVATÓRIOS .....	14
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
4.1 LOCALIZAÇÃO DOS ESTUDOS .....	16
4.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	18
4.3 DECLIVIDADE .....	21
4.4 HIDRÁULICA DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS .....	23
4.4.1 Transporte de Sedimentos de Fundo .....	23
4.4.2 Transporte de Sedimento em Suspensão .....	27
4.4.3 Fórmula de Manning.....	30
4.5 OBTENÇÃO DE DADOS DE CAMPO .....	31
4.5.1 Granulometria do Leito .....	33
4.5.2 Descarga de Sedimentos .....	34
4.5.3. Análises complementares .....	36
4.6 PREVISÃO DE ASSOREAMENTO.....	37
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>38</b>
5.1 GRANULOMETRIA DO LEITO .....	38
5.2 DESENHO DA CALHA.....	42
5.3 DESCARGA DE SEDIMENTO .....	44
5.4 EROÇÃO.....	49
5.5 MATÉRIA ORGÂNICA .....	50
5.6 PREVISÃO DE ASSOREAMENTO.....	51
5.7 PROPOSTA DE MANEJO DO RESERVATÓRIO.....	53
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>58</b>
<b>APÊNDICE A – PLANILHA PARA CÁLCULOS E APLICAÇÃO DAS FÓRMULAS</b> .....	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A construção de uma barragem modifica as condições naturais do curso d'água, ocasionando a redução de sua velocidade, acarretando na deposição dos sedimentos e, conseqüentemente ocasionando o assoreamento. Este fenômeno diminui gradativamente a capacidade de armazenamento do reservatório, além de provocar danos nas turbinas através da presença de macrófitas, a partir do momento em que são fornecidas as condições para o seu crescimento.

O processo de erosão tem se intensificado com o aumento da população, pois à medida que esta aumenta as áreas desprovidas da vegetação natural também irão aumentar. Neste sentido, é natural que os casos de assoreamento cresçam na mesma proporção, tornando-se imprescindível que sejam realizados estudos sedimentológicos em aproveitamentos com formação de reservatório, à medida que é conhecido o fato de que todo reservatório irá um dia assorear.

Neste trabalho é chamada atenção ao assoreamento de reservatórios com potencial energético, pois no Brasil a forma mais usual de energia são as usinas hidrelétricas.

Em uma análise visual das condições do desemboco do rio do Campo no reservatório do Parque Joaquim Teodoro de Oliveira, também conhecido como Parque do Lago, verifica-se que existe um processo de assoreamento avançado. A Prefeitura municipal já realizou a dragagem deste Parque, que não deixa de ser um serviço dispendioso e, em poucos anos o assoreamento está visível outra vez.

Desta forma, a realização de estudos sedimentológicos no Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, localizado no município de Campo Mourão - PR é de grande interesse, tendo em vista o assoreamento do reservatório e a qualidade da água, além de viabilizar as metodologias aplicadas neste estudo para outros reservatórios com aproveitamentos de energia e, auxiliar nas técnicas de manejo deste parque.

No trabalho apresentado foram aplicadas diferentes metodologias para estimar a descarga de fundo e a descarga em suspensão. Para a primeira, foram utilizados os métodos de Einstein (1942) com Peter-Meyer e Duboys e Zeller (1963). A partir dos valores encontrados para a descarga de fundo desses dois métodos, foi

utilizado o método de Righetto (1998) para integrar estes valores e, então encontrar os valores da descarga em suspensão. Para a determinação da descarga suspensa, além dos métodos supracitados, foi utilizado também o método de Yang (1973).

Para que as metodologias fossem aplicadas, primeiramente, foi necessário obter os dados hidrométricos e a granulometria das seções estudadas. Em seguida os resultados foram aplicados nas diferentes metodologias para estimar as descargas de sedimentos e, por fim é apresentada uma sugestão de manejo para o Parque do Lago, lembrando que outros estudos devem ser realizados para se obter uma maior quantidade e qualidade de dados, para então verificar se a sugestão é realmente viável.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar estudos de transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica Rio do Campo, em áreas urbana e rural.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar a origem dos sedimentos através de análises granulométricas e da caracterização dos componentes das amostras;
- Estimar a descarga dos sedimentos de fundo e em suspensão, utilizando modelos teóricos, empíricos e experimentais;
- Prever o assoreamento do Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira e sugerir o manejo do reservatório, levando-se em consideração trabalhos futuros com dados mais precisos e completos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

A principal causa da degradação das terras agrícolas é a erosão do solo, a qual consiste nos processos de desprendimento e arraste das partículas, sendo a hídrica a mais importante forma de erosão, causada pela chuva e pelo escoamento superficial (ZACHAR, 1982).

Ao percorrer o caminho, a água da precipitação interage com um conjunto de variáveis como a cobertura vegetal, tipo de solo e de rocha e tipo de uso e ocupação do solo pelo homem. Conforme a vegetação vai sendo removida, a fragilidade aos processos erosivos aumenta. A exploração não planejada do uso do solo traz conseqüências para as águas superficiais, carregando sedimentos, agrotóxicos e nutrientes (LELI, 2010).

Em pequenas bacias hidrográficas, o estudo do transporte de sedimentos é importante para determinar o volume de assoreamento em reservatórios, permitindo estimar a sua vida útil, além de relacionar com as práticas agrícolas e perdas de solo agrícola (CARVALHO et al., 2000a).

#### 3.2 DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS EM CANAIS

Para prevenir problemas associados ao depósito de sedimentos ao longo do curso de um rio, é fundamental entender o mecanismo de transporte e a correta avaliação da carga de sedimentos em suspensão. A descarga sólida total é obtida pelo somatório da descarga sólida em suspensão mais e da descarga sólida de arrasto. Quantificar a vazão sólida presente em um rio é o passo inicial para a resolução dos problemas relacionados ao transporte de sedimentos (CHELLA et al., 2005).

São duas as variáveis responsáveis por realizar o transporte de sedimentos pela água, a primeira é a capacidade de escoamento e a segunda é a energia necessária para deslocar as partículas sólidas. Quanto mais finas e leves, menos energia é necessária para fazê-la deslocar. Se a velocidade do escoamento for baixa, a deposição do sedimento dependerá da granulometria do material, já os escoamentos velozes e turbulentos são poucos seletivos, carreando o que estiver pela frente (LIMA e SILVA, 2006).

O transporte de sedimentos em rio envolve o transporte de fundo e o transporte em suspensão. O primeiro acontece quando há deslocamento das partículas durante o escoamento, podendo rolar, deslizar ou saltar ao longo do leito, sendo a tensão de arraste a grandeza física mais importante nesse tipo de transporte. O transporte de sedimentos em suspensão ocorre quando as partículas sólidas permanecem suspensas decorrentes do escoamento turbulento (RIGHETTO, 1998).

No transporte de fundo, as partículas estão muito próximas ao fundo e os níveis de turbulência são tão pequenos que as partículas não entram em suspensão. A quantidade de movimento é transferida para a partícula através do atrito viscoso. Quando a partícula está em movimento ascendente a componente vertical da força de arraste e a força gravitacional ficam direcionadas para baixo. Já na fase descendente, a componente vertical da força de arraste é direcionada para cima. No momento em que a partícula toca o fundo, ela pode ser absorvida ou saltar. Assim, uma parte da quantidade de movimento é transferida para as partículas que compõem a superfície de fundo dando impulsos mais ou menos horizontais responsáveis pelo início dos movimentos de deslizamento e rolamento (FONTOURA, 2004).

Ainda segundo o autor supracitado, o início do transporte em suspensão se dá analogamente ao transporte de fundo, mas com o aumento da velocidade do fluido, a velocidade de cisalhamento de fundo excede o valor da velocidade de queda da partícula, sendo levada para cima, onde as forças de arraste que o movimento turbulento do fluido aplica na partícula são maiores que o seu peso, tornando-se as responsáveis por mantê-las em suspensão.

As amostras de sedimentos de fundo contêm elementos-traço, ou seja, elementos em quantidades muito pequenas, que a partir de análises, possibilitam verificar o grau da poluição ambiental do local estudado e, até descobrir a origem

desta poluição, permitindo o monitoramento adequado para melhorar a qualidade ambiental (MOREIRA e BOAVENTURA, 2003).

Vários são os fatores que contribuem para o transporte de sedimentos, dentre os quais, podem ser citados, a quantidade e intensidade das chuvas, tipo de solo e a formação geológica, cobertura e uso do solo, topografia, erosão das terras, escoamento superficial, características dos sedimentos e as condições morfológicas do canal (CABRAL, 2004).

Em relação à granulometria, na parte mais alta da bacia, observa-se que os tamanhos das partículas são maiores, pois a erosão também é maior e, a medida que o transporte de sedimento se direciona para a jusante, o material vai sendo fracionado, fazendo com que o tamanho das partículas sejam menores. O tamanho das partículas também determina o desenho da calha do rio (CARVALHO, 1994).

Além do exposto acima, a distribuição do tamanho da partícula é uma propriedade bastante utilizada para a descrição do processo sedimentológico, pois seu tamanho e sua densidade são fundamentais para a compreensão de processos locais de transporte de sedimento (RIGHETTO, 1998).

Os métodos indiretos utilizados para determinar a descarga sólida são mais usuais, devido à facilidade de obtenção dos dados, dentre os quais pode-se elencar a vazão líquida, a concentração de sedimentos em suspensão, a distribuição granulométrica dos sedimentos em suspensão, a distribuição granulométrica dos sedimentos do leito, a declividade da linha d'água e a temperatura da água (DINEHART, 1997).

### 3.3 DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS EM RESERVATÓRIOS

Segundo ANEEL (2011), as usinas hidrelétricas, independentemente de seu porte, responderam em 2008 por 75,68% da potência total instalada no país. Este fato contribui para que seja dada mais importância aos estudos sedimentológicos, uma vez que este estudo não é satisfatório no país, dando ênfase apenas aos estudos hidrológicos.

Estudos realizados pela Eletrobrás/IPH (1994), concluíram que a perda anual da capacidade de armazenamento dos reservatórios do país é de aproximadamente 0,5%, sendo esta perda correspondente à capacidade total de armazenamento de muitos reservatórios de tamanho médio (CARVALHO, 1994).

Os sedimentos transportados pelo sistema fluvial são depositados no reservatório, devido à diminuição da velocidade da água. Conforme o assoreamento aumenta, a velocidade da água dentro do reservatório aumenta e, mais sedimentos são carregados para a jusante (CARVALHO et al., 2000a).

A distribuição dos sedimentos dentro do reservatório não é uniforme. O delta é formado por sedimentos mais grossos e no interior são depositados sedimentos mais finos. Quando há enchentes a deposição também é diferente, são os depósitos de várzea. Os tipos diferentes de depósito criam diferentes impactos (MAHMOOD, 1987).

Desde a fase de planejamento, todas as condicionantes, como o estudo da produção do sedimento, o assoreamento no reservatório, o controle de sedimentos e os efeitos secundários devem ser levadas em consideração (CABRAL, 2004).

Além disso, o sedimento é o mais significativo de todos os poluentes em termos de concentração na água. No próprio sedimento há outros tipos de poluentes que são carregados com ele e, servem como abrigo para os microrganismos patogênicos. Como consequência, há o aumento do custo para o tratamento da água, aumento da turbidez, redução da penetração de raios solares, impedindo a fotossíntese alterando todo o ciclo de vida dos organismos que vivem nos rios e diminuindo a profundidade dos canais (BROOKS et al., 2003).

Os modelos matemáticos prevêm a contribuição em pontos específicos da bacia hidrográfica, permitindo saber onde os sedimentos devem ser controlados, mas apesar das equações levarem em consideração várias características hidráulicas dos canais e dos sedimentos transportados, os modelos matemáticos não conseguem obter resultados que incluem as interferências antrópicas. A sedimentometria (dados relativos à quantidade de matéria sólida em movimento junto à massa líquida) é outra forma de abordar o transporte de sedimentos e, ambos são métodos utilizados para avaliar o manejo da terra e do impacto ambiental (AVANZI et al., 2008).



## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCALIZAÇÃO DOS ESTUDOS

A estimativa da descarga de sedimento foi realizada considerando as características de dois rios, Rio do Campo e Rio Água das Barras, sendo este afluente do primeiro e ambos localizados na cidade de Campo Mourão - PR.

O Rio do Campo é um manancial de abastecimento de água de parte da população da cidade e também constitui no principal contribuinte para um reservatório local de recreação e realização de exercícios físicos de um parque em um bairro da cidade, Parque Joaquim Teodoro de Oliveira.

O município de Campo Mourão está localizado na região Centro-Ocidental do estado do Paraná e, caracteriza-se por pertencer a uma região em que existe uma mudança em termos de características do solo. Na direção noroeste do município existem solos de origem do arenito Caiuá, constituída por arenitos avermelhados de granulometria média. Na maior parte do município existem solos de origem em rochas basálticas com alto teor de argilas, constituindo em latossolos ou argilossolos (MAACK, 1947).

Para a realização do estudo sedimentológico no Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, primeiramente foram realizadas idas à campo para obtenção de dados, tais como a vazão, raio hidráulico, perímetro molhado, velocidade, declividade e coleta de amostras dos sedimentos deste local.

Na figura 1, está representado o mapa com o estado do Paraná com escala de aproximadamente 1:10.000.000, focalizando o município de Campo Mourão com sua hidrografia com escala aproximada de 1:480.000, dando ênfase à bacia hidrográfica do rio do Campo, com escala aproximada de 1:214.000, local onde os estudos foram realizados.

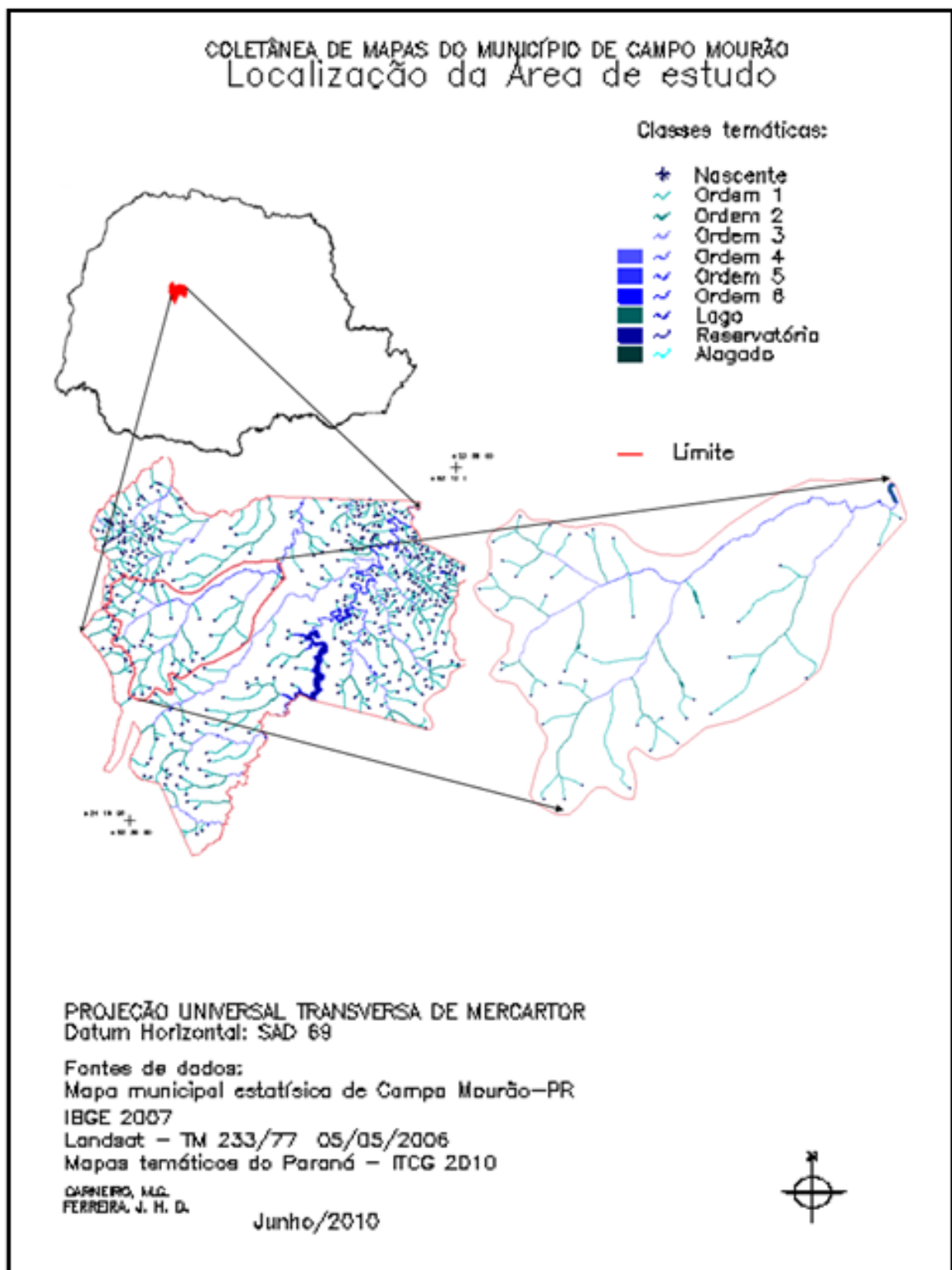


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica e do trecho em estudo.  
Fonte: Adaptado de Carneiro e Ferreira (2010). Escalas variam.

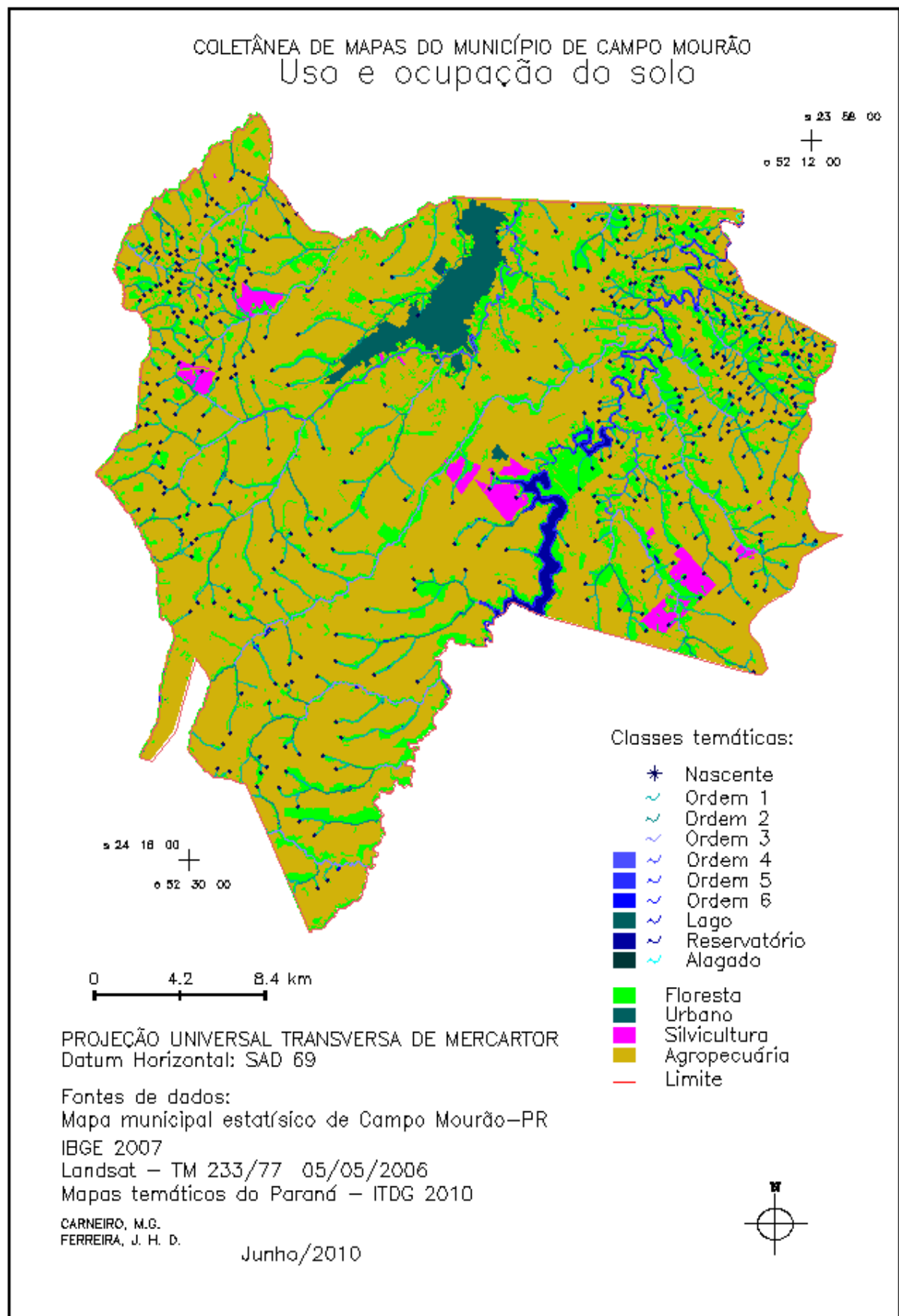
## 4.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O levantamento do uso e ocupação do solo consiste em um detalhado de mapeamento, contendo as condições edafoclimáticas, ou seja, características do meio, como o clima, o relevo, a temperatura, o tipo de solo e a precipitação, além da avaliação da cobertura vegetal e outros elementos presentes na região em estudo. Em relação à cobertura vegetal, a área de vegetação nativa é mais heterogênea e, quando representadas por imagens de satélites, possui textura mais rugosa do que uma área de silvicultura, que é mais homogênea (FLORENZANO, 2002).

Em áreas rurais há impactos gerados pela falta de vegetação ciliar e a má adequação das estradas rurais, acarretando no intenso transporte de sedimentos para os rios, em especial, em épocas de chuvas intensas. Nas áreas urbanas existem outros fatores que contribuem com o transporte de sedimentos, sendo estes fatores mais complexos e diversos, como por exemplo, os resíduos sólidos urbanos e os esgotos domésticos (COLAVITE, 2009).

O município de Campo Mourão apresenta área de aproximadamente 758,1312 Km<sup>2</sup>, dentre as quais a vegetação nativa detém área de 61,8174 Km<sup>2</sup> correspondendo a 8% do total, a agropecuária possui área de 654,4467 Km<sup>2</sup> e 86% do município, a silvicultura conta com 14,4378 Km<sup>2</sup>, correspondendo a 2% e a área urbana é de 19,8117 Km<sup>2</sup>, ou seja, 3% do total do município. É perceptível que a economia do município é voltada ao agronegócio (CARNEIRO e FERREIRA, 2010). A figura 2 mostra o uso e ocupação do solo do município de Campo Mourão.

A figura 3 ilustra o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio do Campo, apresentando área de aproximadamente 115,9279 Km<sup>2</sup>, sendo que a agropecuária ocupa 95,9921 Km<sup>2</sup> ou 82,8% da área total, a silvicultura domina 1,5709 Km<sup>2</sup> ou 1,35%, a área urbana é de 3,3360 Km<sup>2</sup> com 2,87% do total e a vegetação nativa conta com área de 15,0524 Km<sup>2</sup> e 12,98% da área da bacia (CARNEIRO e FERREIRA, 2010). Analogamente à área total do município, a agropecuária é predominante no uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio do Campo.



**Figura 2. Uso e ocupação do solo do município de Campo Mourão.**  
Fonte: Adaptado de Carneiro e Ferreira (2010). Escala 1:280.000.

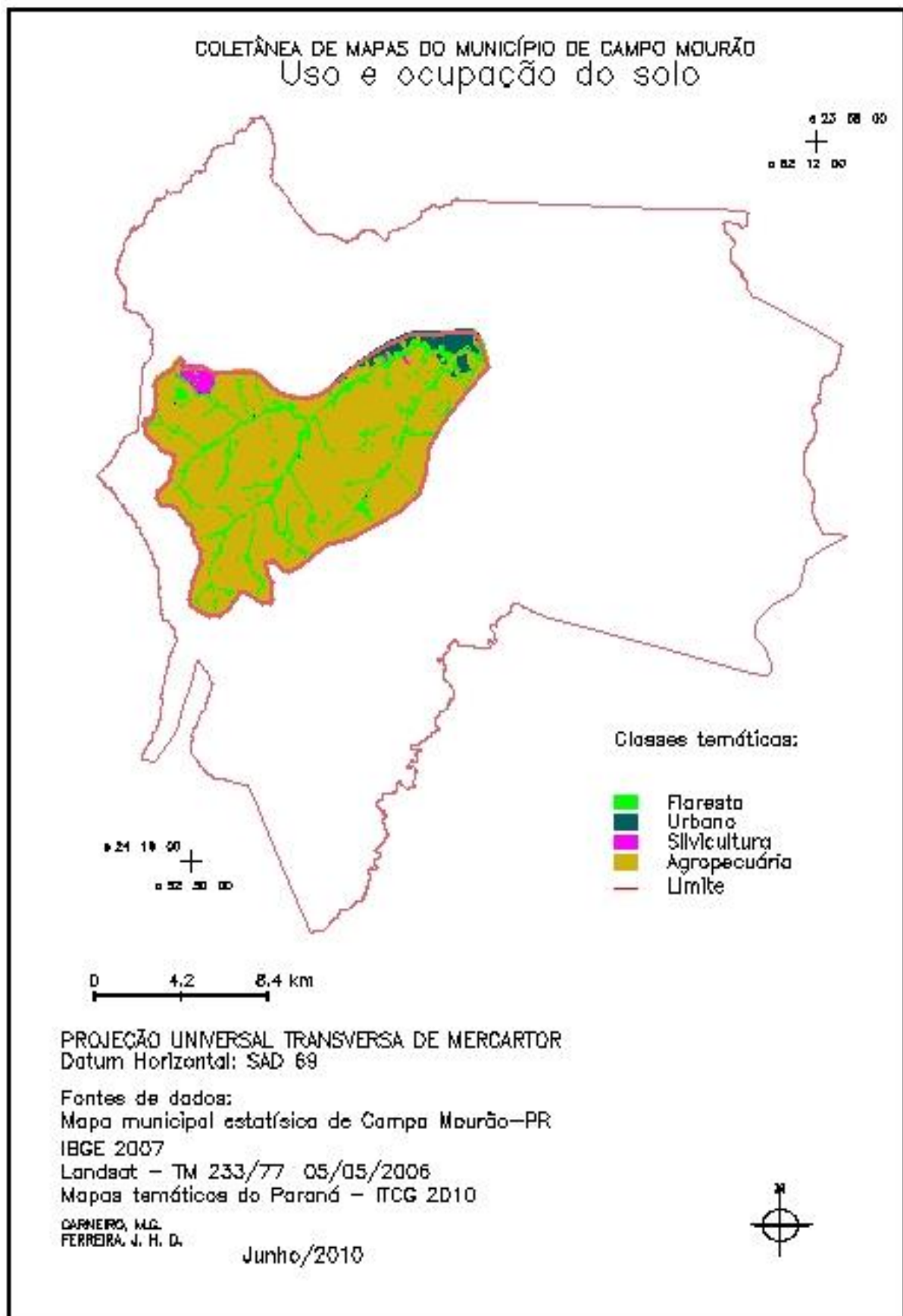


Figura 3. Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio do Campo.  
 Fonte: Adaptado de Carneiro e Ferreira (2010). Escala 1:280.000.

### 4.3 DECLIVIDADE

O aumento do escoamento superficial decorrente da urbanização contribui para aumentar a capacidade erosiva e a capacidade de transporte de sedimentos, especialmente em áreas de alta declividade. O mapa de declividade é uma forma de representação do relevo, pois indica a inclinação das vertentes (COLAVITE, 2009).

A declividade dos terrenos de uma bacia hidrográfica controla em parte a velocidade do escoamento superficial, influenciando dessa forma, no tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais (VILLELA e MATTOS, 1975).

Os sedimentos transportados pelo sistema de condutos pluviais proporcionais à loteamento ou rede primária urbana, conhecidos como microdrenagem, de áreas de alta declividade e de expansão urbana atingem a macrodrenagem e se depositam devido à redução de declividade e da capacidade de transporte. Estes sedimentos reduzem a capacidade de escoamento de cheias dos canais da macrodrenagem e as inundações se tornam mais freqüentes (COLLISCHONN et al., 2001).

Com base no mapa da declividade (figura 4), observa-se que a declividade predominante pertence à classe de suave ondulado, ou seja, apresenta topografia pouco acidentada. Já no entorno dos canais fluviais, podendo a hidrografia ser observada nas figuras 1 e 2, correspondendo à localização dos estudos e uso e ocupação do solo do município de Campo Mourão – PR, respectivamente, tem-se o predomínio de declividades forte ondulado a ondulado.

A bacia hidrográfica do rio do Campo apresenta características físicas para uso da agricultura intensiva, pois apresenta baixa declividade, podendo ser considerada, em geral, uma região predominantemente plana, porém seu uso merece especial atenção pelo fato de ser área de manancial de abastecimento do município de Campo Mourão (COLAVITE, 2009).

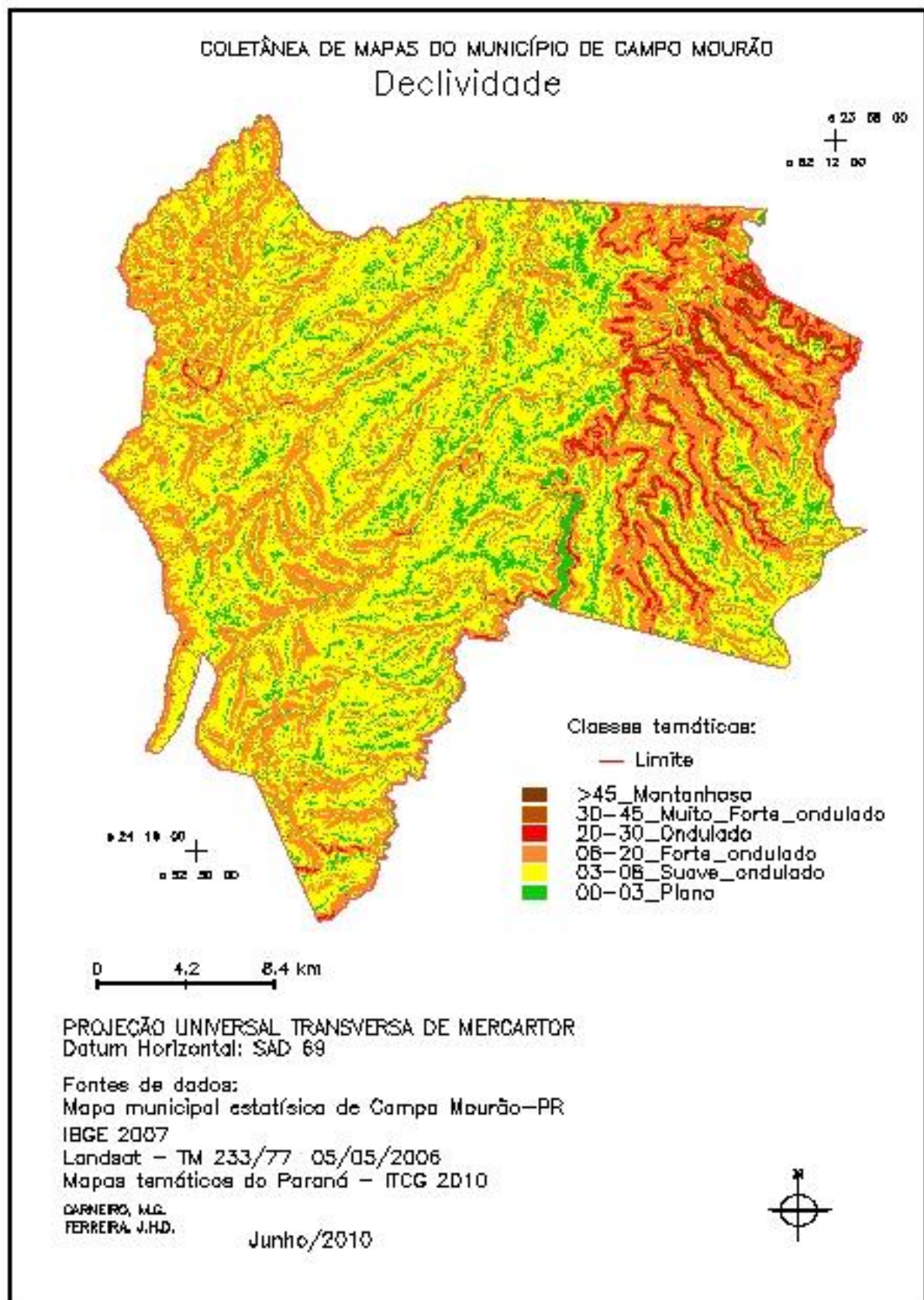


Figura 4. Declividade do município de Campo Mourão – PR.  
Fonte: Adaptado de Carneiro e Ferreira (2010). Escala 1:280.000.

## 4.4 HIDRÁULICA DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

### 4.4.1 Transporte de Sedimentos de Fundo

Einstein et al., (1950) utilizou a tensão de atrito relativa a um escoamento em um canal de leito móvel ou tensão trativa,  $\tau_0$  e, a velocidade de cisalhamento,  $u^*$ , para o cálculo da descarga de sedimento de fundo, dados por:

$$\tau_0 = \gamma R_H S \quad (1)$$

$$u^* = \left( \frac{\tau_0}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Onde  $R_H$  é o raio hidráulico,  $S$  a declividade do leito,  $\gamma$  é o peso específico da água e  $\rho$  o peso específico da água. As equações 1, 2 e as que se seguem foram retiradas de Righetto (1998).

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

$$\psi = \frac{(\gamma_s - \gamma) D_s}{\tau_0} \quad (3)$$

e

$$\phi = \frac{Q_s / B}{w_s \cdot D_s} \quad (4)$$

Sendo,  $B$  a largura do canal,  $Q_s$ , a carga de fundo,  $\gamma_s$  o peso específico do sólido,  $\gamma$  o peso específico da água e  $w_s$  a velocidade de queda das partículas estimada pela seguinte relação de equilíbrio das forças de gravidade e de resistência:

$$\quad (5)$$

ou



$$w_s = \frac{2}{D_s} \left[ -3\nu + \sqrt{9\nu^2 + \frac{g \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) D_s^3}{6}} \right] \quad (6)$$

ou, aproximadamente:

$$w_s = \sqrt{\frac{2(\gamma_s - \gamma)}{3\gamma}} \frac{D_s^2}{\nu} \quad (7)$$

Sendo,  $\nu$  a viscosidade cinemática da água.

Para a condição em que o escoamento tem capacidade de transportar partículas de fundo, a relação entre  $\psi$  e  $\phi$  pode ser obtida por meio de uma formulação baseada na probabilidade de uma partícula de fundo ser desalojada e se deslocar uma distância  $L$  antes de retornar a uma nova condição de repouso. Admite-se que  $L$  seja proporcional ao diâmetro da partícula,  $D_s$ , isto é:

$$L = \lambda D_s \quad (8)$$

Onde  $\lambda$  é a constante de proporcionalidade.

Chamando de  $P_s$  a probabilidade de uma partícula qualquer ser deslocada, tem-se para uma área do leito de largura unitária e comprimento  $L$  que é o número esperado de partículas em movimento por unidade de tempo,  $n_{s,f}$ , dado por:

$$n_{s,f} = \frac{1L}{a_1 D_s^2} F_s \quad (9)$$

Sendo  $a_1 D_s^2$  a área do leito coberta por partículas. Se cada partícula de fundo em movimento tem volume expresso por  $a_2 D_s^3$ , então, a carga de fundo por unidade de largura de leito,  $q_s$ , pode ser expressa por:

$$q_s = \frac{\frac{1L}{a_1 D_s^2} \rho_s a_2 D_s^3}{\Delta t_s} \quad (10)$$

Sendo  $\Delta t_s$  o intervalo de tempo médio para que as partículas desalojadas da área do leito considerada cruzem a fronteira de jusante dessa área. Admitindo

que  $\Delta t_s$  seja proporcional a  $\frac{D_s}{w_s}$ , isto é:

$$\Delta_s = a_3 \frac{D_s}{v_s} \quad (11)$$

Obtem-se, então:

$$\frac{a_3}{R_s v_s D_s} = a_4 P_s \quad (12)$$

Einstein postulou que a probabilidade  $P_s$  é função da relação entre a força de sustentação ou de ascensão da partícula,  $F_{asc}$ , e o peso aparente da partícula na água,  $W_{ap}$ , sendo:

$$F_{asc} = a_5 \rho_s^2 D_s \quad (13)$$

e

$$W_{ap} = (a_6 - \gamma) a_2 \bar{L}_s \quad (14)$$

E  $u$  uma velocidade característica do escoamento nas imediações da partícula. Sabendo-se que a tensão de atrito da água sobre a partícula,  $\tau_0$  é proporcional a  $\rho \cdot u^2$ , então:

$$\frac{F_{asc}}{W_{ap}} = a_6 \frac{\tau_0}{(a_6 - \gamma) \bar{L}_s} \quad (15)$$

Sendo  $a_6$  uma constante. Com essas relações, e supondo que  $P_s$  seja função de  $\frac{F_{asc}}{W_{ap}}$ , obtém-se:

$$P_s = f \left[ \frac{\tau_0}{(a_6 - \gamma) \bar{L}_s} \right] = f \left( \frac{1}{\psi} \right) \quad (16)$$

Com as equações 12 e 16, os parâmetros adimensionais  $\psi$  e  $\phi$  têm a seguinte relação funcional:

$$\phi = \frac{a_3}{R_s v_s D_s} = f \left( \frac{1}{\psi} \right) \quad (17)$$

Sendo  $f(1/\psi)$  uma função empírica, obtida por meio de dados observados.

Chein (1954), considerando Meyer-Peter et al., (1934) e de Einstein (1942) apresentou uma relação entre os termos  $\psi$  e  $\phi$ , dada por:

$$\phi = \left( \frac{4 - 0,18}{\psi} \right)^{3,2} \quad (18)$$

Sendo essa relação utilizada nos cálculos para a obtenção da carga de fundo,  $Q_s$ .

Há mais de um século atrás DuBoys (1879) criou um modelo para transporte de sedimentos, que foi desde então objeto de muitas investigações e críticas. Neste trabalho foi considerado que os sedimentos se movem em camadas, em que cada qual tem uma espessura  $\varepsilon$ . Estas camadas se movimentam devido a uma tensão trativa, dado por:  $\tau_0 = \gamma S D$ . O balanço de força devido à resistência entre as camadas e tensão trativa é dado por:

$$c_f \tau_0 = \gamma S D \quad (19)$$

Onde  $c_f$  é um coeficiente de cisalhamento. Considerando que as camadas, da primeira (inferior) a última (enésima, superior), se movem de acordo com uma distribuição linear de velocidade, então a carga de fundo por unidade de largura é dada por:

$$q = v_s \cdot \frac{n(n-1)}{2} \quad (\text{m}^3/\text{s.m}) \quad (20)$$

Na equação 19,  $n\varepsilon$  é a espessura do material de sedimento em movimento com velocidade média de  $[v_s(n-1)]/2$ . A condição crítica ocorre quando  $n = 1$ , tornando-se:

$$(\tau_0)_{cr} = c_f (\gamma S) \quad (21)$$

Este, por sua vez, resulta:

$$\tau_0 = n(\tau_0)_{cr} \quad (22)$$

Substituindo-se na equação 20, obtém-se a seguinte equação:

$$q = \frac{v_s}{2} \cdot \frac{n(n-1)}{(\tau_0)_{cr}} \quad (23)$$

DuBoys (1879) refere o termo  $\varepsilon \cdot \frac{v_s}{2(\tau_0)_{cr}^2}$  como um coeficiente característico do sedimento, representado pelo símbolo  $\chi$ . A equação de DuBoys para estimativa da carga de fundo por unidade de largura é dado por:

$$q = \chi \left[ \frac{v_s}{2} \cdot \frac{n(n-1)}{(\tau_0)_{cr}} \right] \quad (24)$$

Os valores de  $\chi$  e de  $(\tau_0)_{cr}$  podem ser estimados em função do diâmetro médio das partículas de sedimento de fundo, como por exemplo no gráfico da figura 5 de Zeller (1963).

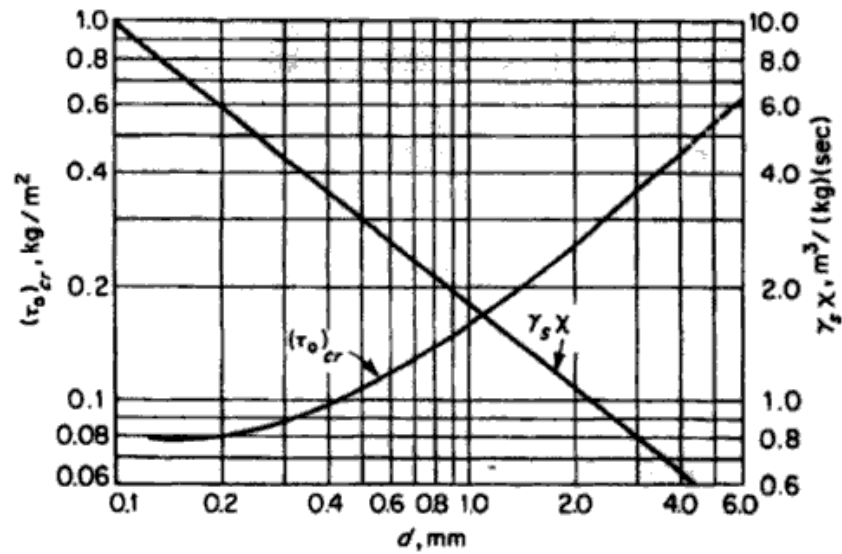


Figura 5. Avaliação dos parâmetros da Eq. 26.  
Fonte: Zeller (1963).

Para verificar se há erosão nas seções analisadas é utilizado o diagrama de Shields, como mostra a figura 6.

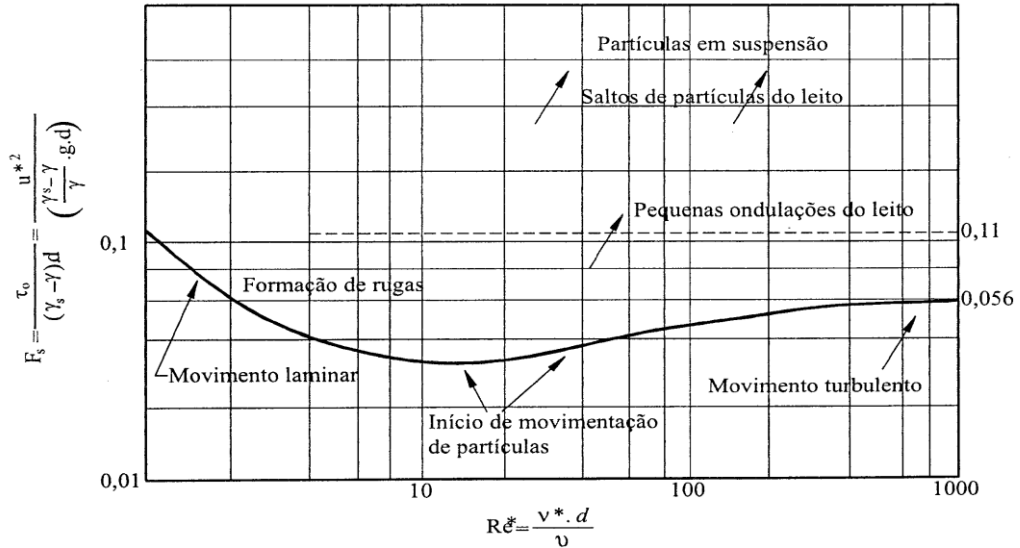


Figura 6. Diagrama de Shields.  
Fonte: Righetto (1998).

#### 4.4.2 Transporte de Sedimento em Suspensão

Segundo Stevens e Yang (1989, apud CARVALHO et al., 2000a, p. 34) o modelo matemático de Yang (1973) foi selecionado como um dos modelos mais

recomendados para areia. A equação de Yang para a areia pode ser visualizada abaixo e é recomendada para descargas de sedimentos em suspensão.

$$\log(C_s) = a_1 + a_2 \cdot \log\left(\frac{U \cdot S}{w_s} - \frac{U_c \cdot S}{w_s}\right) \quad (25)$$

$$a_1 = 5,435 - 0,286 \cdot \log\left(\frac{w_s \cdot d}{\nu}\right) - 0,457 \cdot \log\left(\frac{u^*}{w_s}\right) \quad (26)$$

$$a_2 = 1,799 - 0,409 \cdot \log\left(\frac{w_s \cdot d}{\nu}\right) - 0,314 \cdot \log\left(\frac{u^*}{w_s}\right) \quad (27)$$

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  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $\nu$  é a viscosidade em  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $u^*$  é a velocidade de cisalhamento em  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $U$  é a velocidade média na seção em  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $S$  é a declividade da linha de energia e  $U_c$  é a velocidade média para movimento incipiente dos sedimentos dada por:

$$\frac{U_c}{w_s} = \frac{2,5}{\log(u^* \cdot d / \nu) - 0,06} + 0,66 \quad \text{para } 1,2 < u^* \cdot d / \nu < 70 \quad (28)$$

$$U_c / w_s = 2,05 \quad \text{para } 70 \leq \frac{u^* \cdot d}{\nu} \quad (29)$$

A carga do sedimento em suspensão em canais naturais ocorre por meio da energia dos turbilhões gerados pelo escoamento turbulento que promovem a suspensão das partículas em quantidades significativas. Em geral o transporte de sedimento em suspensão se inicia do fundo para a superfície em função da derivada da velocidade, considerando o perfil vertical da velocidade de escoamento e da transferência da quantidade de movimento.

Quando o escoamento atinge uma condição de regime permanente em relação às características do escoamento do transporte de sedimentos, verifica-se que o fluxo de sedimentos provenientes do leito é compensado pelo fluxo de deposição dos mesmos, de forma que, numa profundidade qualquer do escoamento, tem-se o equilíbrio de transferência de massa, isto é, a taxa de transferência de sedimentos pela turbulência é igual à de sedimentação provocada pela gravidade (RIGHETTO, 1998).

Nessa condição de equilíbrio, a concentração de sedimentos,  $c(z)$ , em um ponto qualquer com elevação  $z$  em relação ao fundo, com unidade  $M.L^{-3}$ , é determinada pela igualdade das taxas de transferências pela turbulência:

$$-\varepsilon \frac{dc}{dz}$$

E pela gravidade,  $c \cdot w_s$ , sendo  $\varepsilon$  o coeficiente de transporte turbulento de partícula, aproximadamente igual à viscosidade cinemática turbulenta do escoamento e  $w_s$  a velocidade de sedimentação da partícula. No estado permanente de transporte de sedimentos em suspensão, tem-se que:

$$\varepsilon \frac{dc}{dz} + c w_s = 0 \quad (30)$$

A integração dessa equação diferencial resulta na expressão da distribuição de sedimentos em suspensão. Considera-se que as partículas em suspensão são uniformes, ou seja, que  $w_s$  é constante; no entanto,  $\varepsilon$  varia com  $z$ , havendo a necessidade de ser utilizada expressão adicional para  $\varepsilon(z)$ . Com a expressão da tensão turbulenta,  $\tau$ , dada por:

$$\tau = \rho \varepsilon \frac{du}{dz} \quad (31)$$

Sendo  $u$  a velocidade do escoamento em um ponto de elevação  $z$ , em relação ao fundo de um canal de fundo instável, prismático e largo e utilizando o modelo de comprimento de mistura turbulenta de Prandtl, tem-se:

$$\varepsilon = l^2 \frac{du}{dz} \quad (32)$$

e

$$l = K \cdot z \cdot \left(1 - \frac{z}{h}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (33)$$

Sendo  $l$  o comprimento de mistura;  $K = 0,4$  a constante universal de Von Karman; e  $h$  a profundidade d'água no canal. Por meio dessas relações e utilizando a velocidade de atrito, sendo  $\tau_0$  a tensão de atrito da água sobre o leito, tem-se:

$$\frac{du}{dz} \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \frac{u^*}{K} \quad (34)$$

E portanto:

$$\varepsilon = K \left( 1 - \frac{z}{h} \right) u^3 \quad (35)$$

Substituindo  $\varepsilon$  por sua expressão na Equação 30 e integrando essa equação diferencial, obtém-se:

$$\frac{c(z)}{c(z_0)} = \left[ \frac{z_0(h-z)}{z(h-z_0)} \right]^{\frac{w_s}{K u^*}} \quad (36)$$

Sendo  $z_0$  a elevação de um ponto do contorno de fundo, localizado próximo ao leito, em torno de  $0,05.h$ . Para a determinação dos valores de  $c(z)$  é necessário conhecer ou o valor de  $c(z_0)$  ou exprimi-lo como uma função da carga de fundo. A estimativa de  $c(z_0)$  pode ser feita indiretamente por meio de levantamentos experimentais de  $c(z)$ . Na realidade, a melhor utilização da Equação 36 é seu emprego com dados observados de  $c(z)$ , a fim de ajustar tanto o valor de  $c(z_0)$  quanto o de  $w_s/K u^*$  (RIGHETTO, 1998). O trabalho apresentado utilizou como  $c(z_0)$  valores da carga de fundo.

#### 4.4.3 Fórmula de Manning

Segundo Sanchez (1987), em condições normais, tem-se nos canais um movimento uniforme, ou seja, a velocidade média da água é constante ao longo do canal. Uma das fórmulas para se obter a velocidade média da água  $v$  em um canal é a fórmula de Manning que é dada por:

$$v = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (37)$$

Sendo  $R_h$  o raio hidráulico em m,  $S$  a declividade do canal em  $m.m^{-1}$  e  $n$  é uma característica da rugosidade da superfície (tabelado). No presente trabalho, o valor de  $n$  para todas as seções foi de 0,025.

Para a obtenção da declividade, a equação 37 pode ser rearranjada substituindo o  $R_h$  por  $A/P$  (relação entre a área e o perímetro molhado da seção) e  $v$  por  $Q/A$  (relação entre a vazão e a área), obtendo-se:

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{A}{P} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (38)$$

$$S = \left( \frac{n.Q}{A^{\frac{5}{3}} . P^{\frac{-2}{3}}} \right)^2 \quad (39)$$

#### 4.5 OBTENÇÃO DE DADOS DE CAMPO

Os estudos *in loco* foram realizados nos meses de Janeiro e Fevereiro de 2012 quando coletaram-se amostras de sedimentos de 6 pontos distintos, dentre eles as seções do rio do Campo, rio Água das Barras, após a junção dos rios e finalmente dentro do Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, onde foram coletados em 3 pontos, margem direita, margem esquerda e meio do reservatório (figura 7).

A escolha das seções à montante do reservatório teve como objetivo comparar qual dos segmentos estudados contribui mais com a descarga de sedimentos dentro do Parque do Lago. No interior deste parque, os pontos escolhidos se devem à facilidade do acesso.





**Figura 7. Localização das seções estudadas.**  
**Fonte: Adaptado de Carneiro (2010). Escala 1:9.750.**

Não diferente do mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica rio do Campo, onde mostra que o uso do solo é predominantemente agrícola, as seções acima descritas localizam-se próximas a áreas onde esta atividade é exercida.

A seção em estudo do rio Água das Barras (seção 1) se caracteriza por possuir maior cobertura vegetal quando comparada à seção do rio do Campo (seção 2). Em relação à seção da junção dos rios (seção 3), sua montante possui áreas de banhado. As características de cada seção podem ser melhores visualizadas na figura 8.



**Figura 8. Características do entorno das seções estudadas.**  
**Fonte: Google Earth (2007). Escala aproximada 1:13.000.**

Dentro do reservatório foram realizadas três campanhas de amostras: três na margem direita, três na margem esquerda e duas no meio, devido à quebra do equipamento desta coleta (amostrador de fundo US-D-59).

Para a obtenção dos dados hidrométricos, foram descartados os pontos do reservatório, devido à dificuldade de obtenção dos mesmos.

#### 4.5.1 Granulometria do Leito

O ensaio de granulometria foi realizado com amostras de sedimento de fundo coletados com equipamento amostrador *piston-core* para os trechos em estudo.

A granulometria foi realizada de acordo com o método da sedimentação e peneiramento seguindo a norma para Ensaio NBR 7181 (ASSOCIAÇÃO..., 1984).

Para a análise da granulometria foram coletadas e separadas as amostras para posterior secagem e, então realizado o quarteamento para homogeneizá-las. A coleta pode ser visualizada nas figuras 9 e 10.



**Figura 9. Coleta de sedimentos na seção em estudo.  
Fonte: Autoria própria.**



**Figura 10. Camada de solo para análise granulométrica.  
Fonte: Autoria própria.**

#### 4.5.2 Descarga de Sedimentos

Para realizar os cálculos das descargas de sedimentos foi necessário obter os dados hidrométricos. A vazão foi medida através do molinete fluviométrico de

Newton (figura 11). A avaliação foi realizada ao longo da largura do rio, com espaçamentos de 0,5 metros.



**Figura 11. Determinação da vazão ao longo do canal utilizando o molinete fluviométrico de Newton.**

**Fonte: Autoria própria.**

O equipamento utilizado para coletar o sedimento em suspensão foi o amostrador US-DH-48 do tipo integrador para uso a vao ou de canoa até 2,0 m de profundidade (figura 12).

Para a coleta de sedimentos de fundo, foi utilizado o amostrador *piston-core* para os trechos em estudo, como citado anteriormente, no tópico da granulometria do leito.

Para a determinação do raio hidráulico, foram medidas as seções transversais obtendo-se as geometrias (áreas e perímetros molhados) de cada seção dos trechos em questão. A declividade foi calculada através da fórmula de Manning, descrita no item 4.4.3.

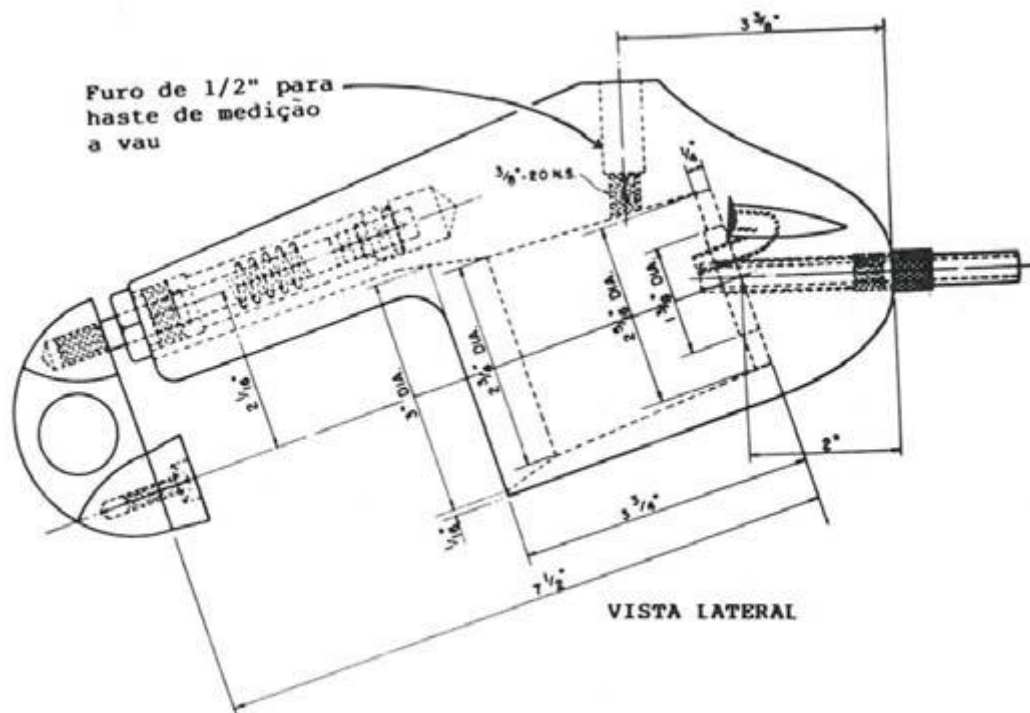


Figura 12. Amostrador US-DH-48 do tipo integrador.  
Fonte: Carvalho et al., (2000a).

#### 4.5.3. Análises complementares

A descarga em suspensão foi calculada de duas formas: método experimental, calculando-se através dos sólidos totais e suspensos e, segundo Righetto (1998) utilizando-se como descarga de fundo os modelos matemáticos de Einstein (1942) com Meyer-Peter et al., (1934), DuBoys (1879) e Zeller (1963), além de Yang (1973).

Para a descarga de fundo, utilizou-se dois modelos matemáticos dentre os propostos anteriormente, Einstein (1942) com Meyer-Peter et al., (1934) e DuBoys (1879) e Zeller (1963).

A matéria orgânica foi analisada, com o objetivo de se avaliar a erosão de cada seção coletada. Esta análise foi desenvolvida seguindo-se o *Standard Methods* e a coleta foi durante o mês de Fevereiro, realizada em campanha única. O ensaio foi realizado para o rio Água das Barras, rio do Campo e junção dos rios, sendo em duplicata e posteriormente calculado a média para cada segmento.

#### 4.6 PREVISÃO DE ASSOREAMENTO

Para cálculo preliminar de assoreamento utilizam-se as seguintes expressões (CARVALHO; et al. 2000a):

$$S = \frac{D_{st} \times E_r}{\gamma_{ap}} = \frac{365 \times Q_{st} \times E_r}{\gamma_{ap}} \quad (39)$$

$$T = \frac{V_{res}}{S} \quad (40)$$

Sendo  $S$  o volume de sedimento retido no reservatório ( $m^3$ /ano),  $D_{st}$  é o deflúvio sólido total médio anual afluyente ao reservatório (t/ano),  $E_r$  a eficiência de retenção do sedimento afluyente ao reservatório (decimal),  $\gamma_{ap}$  o peso específico aparente médio dos depósitos ( $t/m^3$ ),  $Q_{st}$  a descarga sólida total média afluyente ao reservatório (t/dia),  $T$  o tempo de assoreamento de um determinado volume (anos) e  $V_{res}$  o volume do reservatório ( $m^3$ ).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para estudo do transporte de sedimento, considerando um trecho de rio aluvional, foram determinadas as características do corpo d'água, como: granulometria do leito, a variação do raio hidráulico e a declividade média do trecho. Com estes dados foi possível aplicar os métodos de estimativa da descarga de sedimentos.

### 5.1 GRANULOMETRIA DO LEITO

Os gráficos da granulometria foram construídos para todas as amostras coletadas. Na figura 13 é apresentada a curva granulométrica do rio Água das Barras, rio do Campo e a junção dos rios. As figuras 14, 15 e 16 ilustram as granulometrias logo na entrada, na parte central do parque para as duas amostras coletadas, dentro do parque para as três amostras coletadas do lado direito e dentro do parque para as três amostras coletadas do lado esquerdo, respectivamente.

Para as seções coletadas antes do parque, verifica-se a grande quantidade de areia média e a baixa quantidade de materiais finos e a semelhança entre as seções.

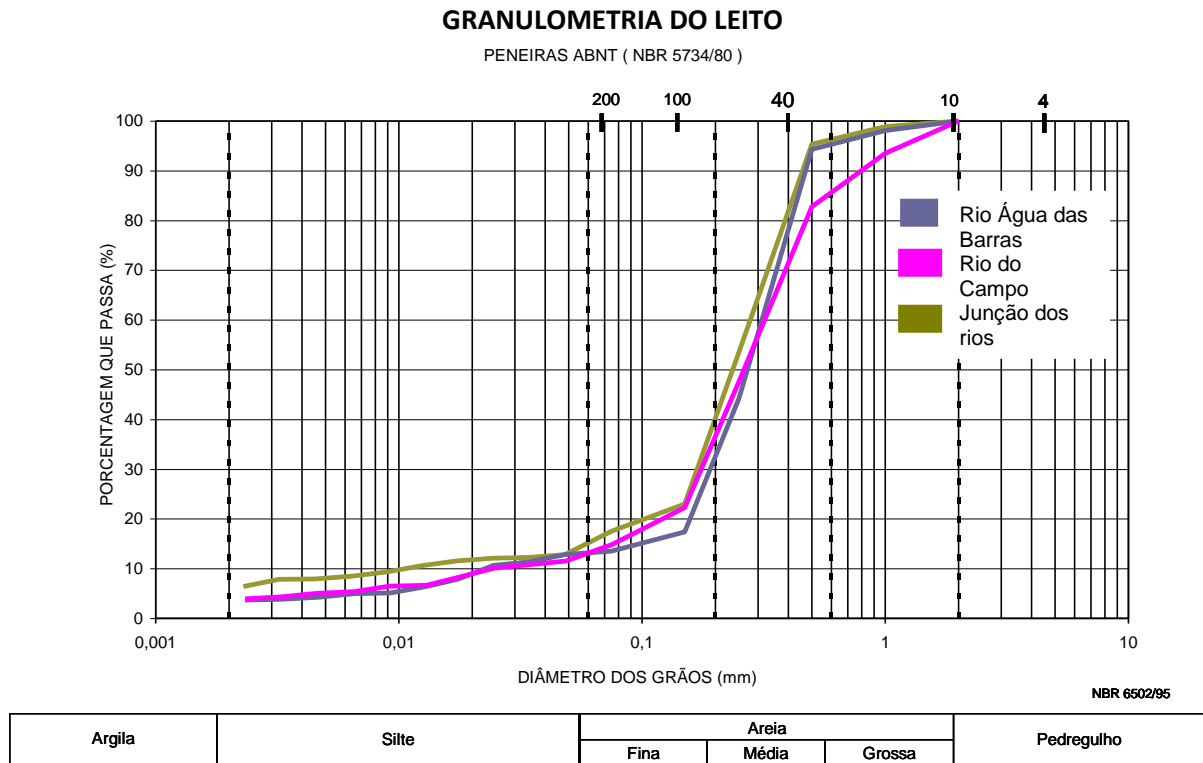
Logo na entrada do reservatório ainda é possível visualizar a baixa quantidade de finos, ou seja, argila e site e verificar a alta quantidade de areia média e fina, não diferenciando-se muito das seções à sua montante. Este fato é o início do processo de deposição dos sedimentos em reservatórios, pois o curso d'água diminui sua velocidade, depositando primeiramente as partículas mais pesadas.

Em seguida, conforme pode ser observada nas figuras 15 e 16, a quantidade de argila e site é mais alta e, elas são direcionadas para as laterais do reservatório, onde a velocidade da água é ainda mais baixa.

Os diferentes dias de coleta apresentaram quantidades também diferentes de partículas, apesar das seções serem as mesmas. Apesar do curto espaço de tempo entre as coletas, a granulometria pode apresentar tal comportamento devido

a vários fatores, como por exemplo, a incidência ou não de chuvas. Entretanto, é possível observar que o formato das curvas em cada seção da coleta, mesmo em dias diferentes é parecido.

Para uma melhor visualização dos gráficos, foi construída a tabela 01 identificando as porcentagens dos tamanhos das partículas de cada segmento coletado.

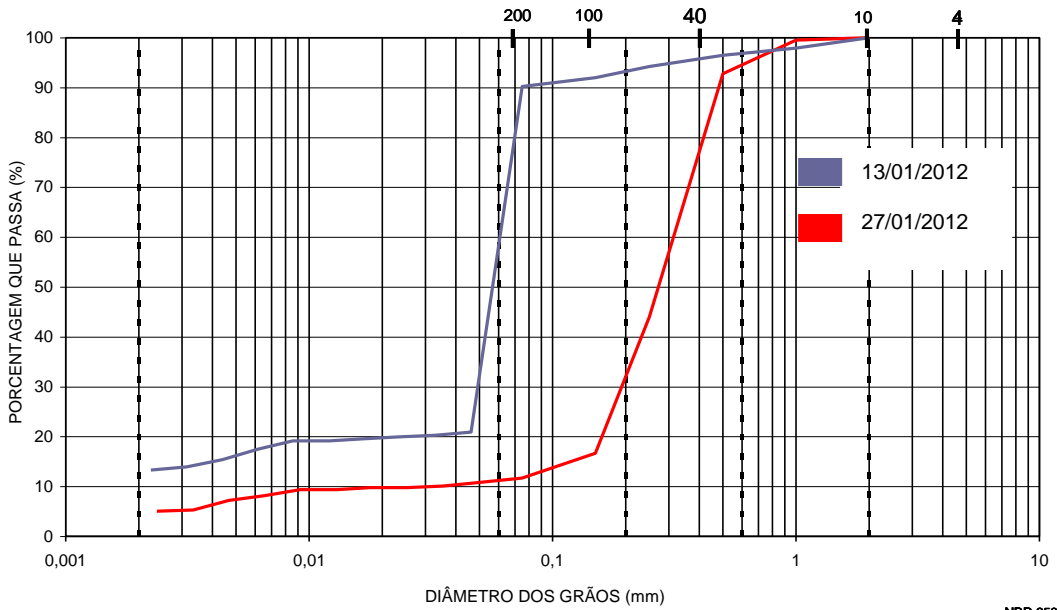


**Figura 13. Granulometria do rio Água das Barras, rio do Campo e junção dos rios.**



### GRANULOMETRIA DO LEITO

PENEIRAS ABNT ( NBR 5734/80 )



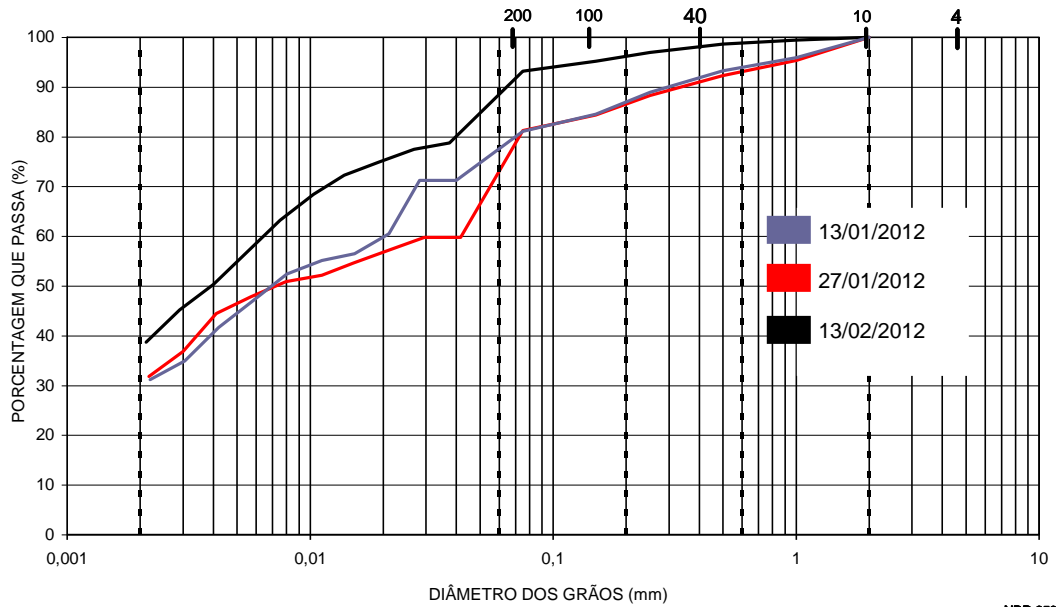
NBR 6502/95

Argila	Silte	Areia			Pedregulho
		Fina	Média	Grossa	

Figura 14. Granulometria do meio (início do reservatório).

### GRANULOMETRIA DO LEITO

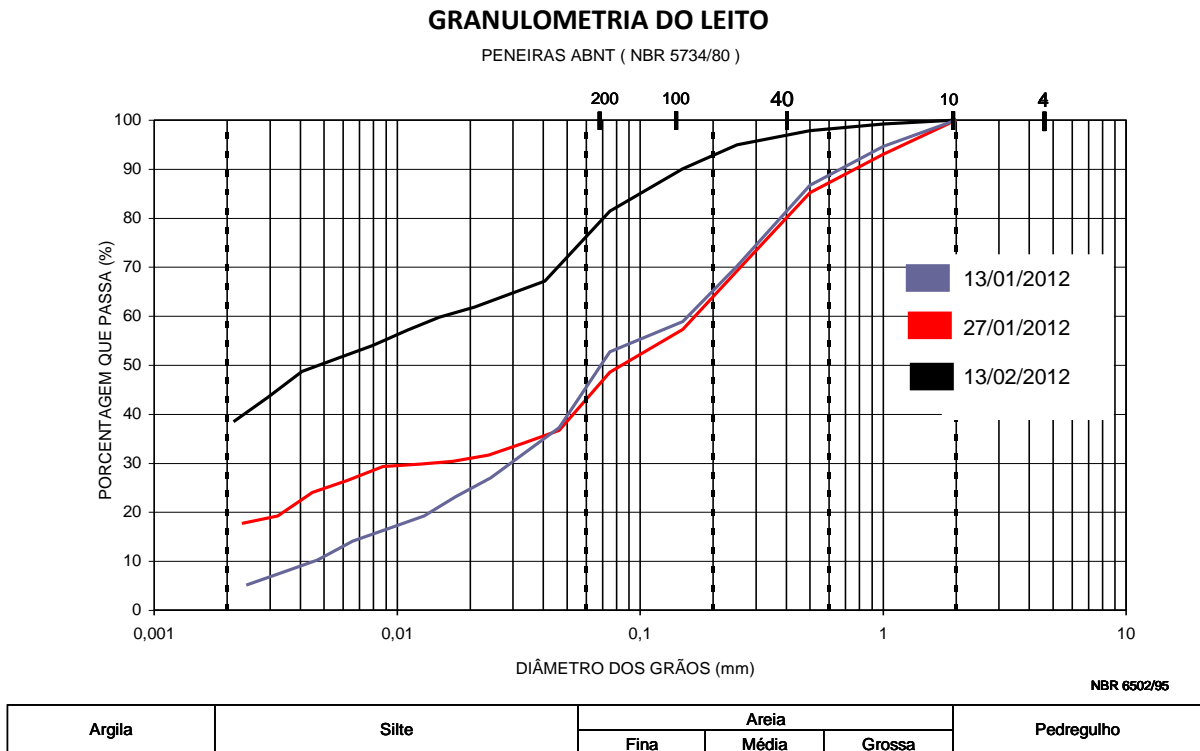
PENEIRAS ABNT ( NBR 5734/80 )



NBR 6502/95

Argila	Silte	Areia			Pedregulho
		Fina	Média	Grossa	

Figura 15. Granulometria do lado direito do reservatório.



**Figura 16. Granulometria do lado esquerdo do reservatório.**

As análises granulométricas para os pontos de estudo até o início do reservatório são bastante parecidas. É possível verificar uma diferença dentro do Parque, onde a deposição de materiais finos é maior nas laterais.

**Tabela 1. Porcentagem do tamanho das partículas de cada segmento coletado.**

(continua)

Pontos	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média e Grossa
<b>Rio Água das Barras</b>	4%	9%	19%	68%
<b>Rio do Campo</b>	4%	8%	26%	62%
<b>Junção dos rios</b>	7%	7%	26%	60%

Tabela 1. Porcentagem do tamanho das partículas de cada segmento coletado.

(conclusão)

Pontos	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média e Grossa
Média do início do reservatório	8%	7%	46%	39%
Média da margem direita do reservatório	33%	46%	11%	10%
Média da margem esquerda do reservatório	21%	33%	19%	27%

A partir das análises granulométricas, foram obtidos os diâmetros das partículas. Para a estimativa da descarga de sedimento foi utilizado o  $d_{50}$ . Os diâmetros médios de cada ponto podem ser demonstrados na tabela abaixo.

Tabela 2. Diâmetro médio das partículas.

Pontos	$d_{50}$ (m)
Rio Água das Barras	0,00027
Rio do Campo	0,00026
Junção dos rios	0,00024

## 5.2 DESENHO DA CALHA

A partir dos dados de largura e profundidade foi possível desenhar a calha do segmento estudado. As figuras 17, 18 e 19 permitem visualizar a geometria dessas calhas.

Considerando os locais de estudo, o segmento mais profundo e largo é quando os dois rios se juntam, com 0,82 m de profundidade e largura de 4,9 m. O

talvegue deste ponto é localizado mais à esquerda em relação aos outros segmentos estudados (figura 19).

Em seguida o rio do Campo apresentou 0,75 m de profundidade e largura de 4,1 metros (figura 18), sendo o rio Água das Barras o mais raso, mais estreito e com talvegue mais à direita dentre todos os pontos há 0,63 m de profundidade e 3,4 m de largura (figura 17).

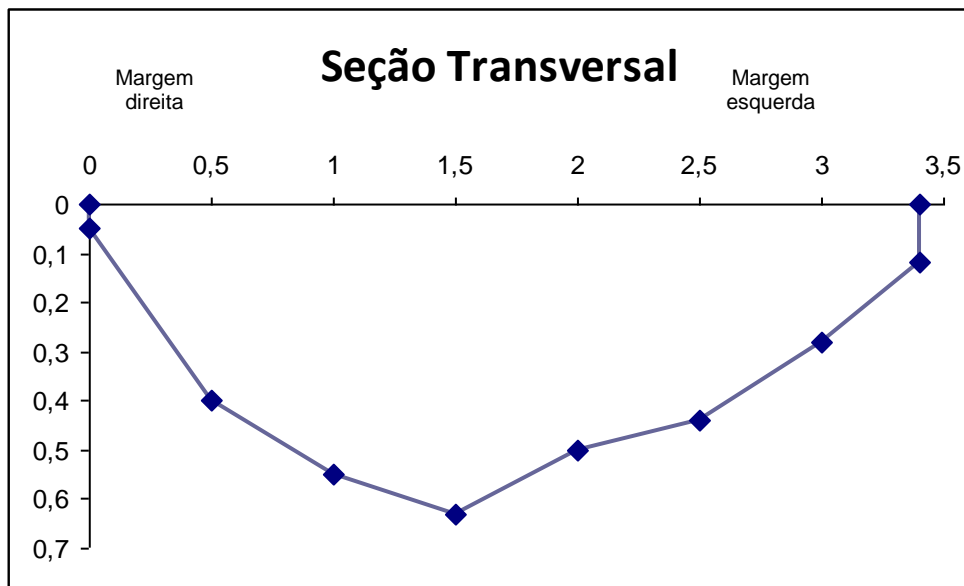


Figura 17. Rio Água das Barras.

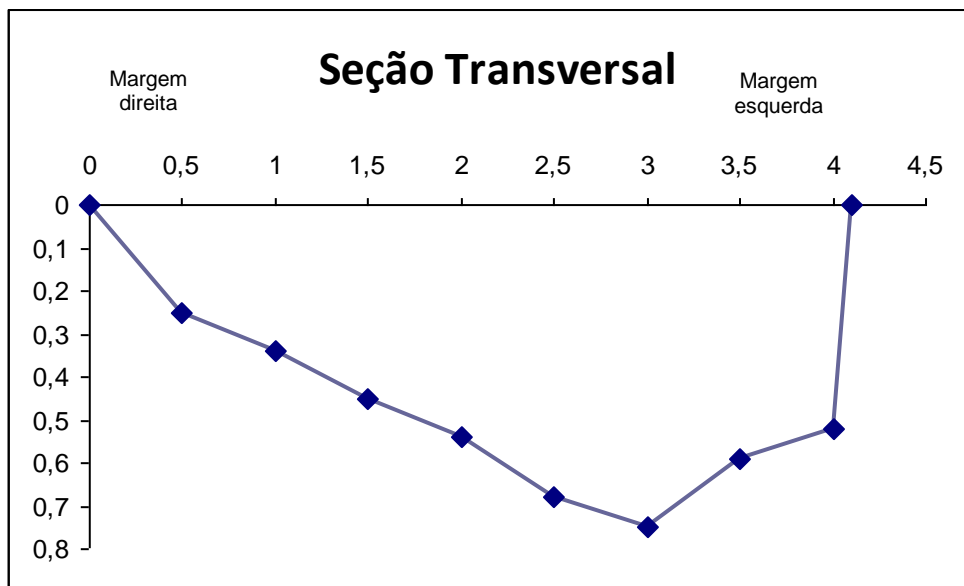


Figura 18. Rio do Campo.

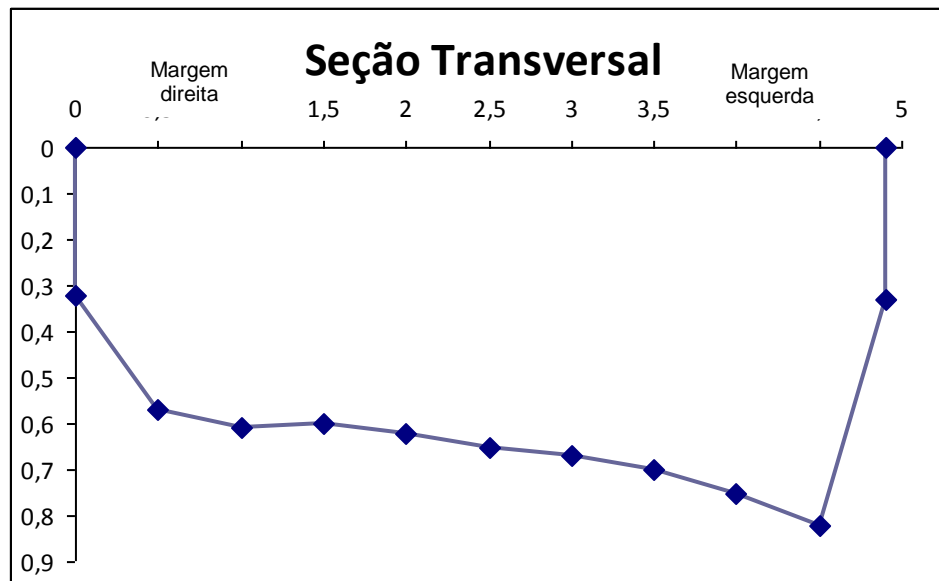


Figura 19. Junção dos rios.

### 5.3 DESCARGA DE SEDIMENTO

Através dos trabalhos de campo, foi possível a obtenção de dados, tais como a vazão, raio hidráulico, perímetro molhado e velocidade, apresentado na tabela 3 para o rio Água das Barras, rio do Campo e para a junção dos rios. A declividade foi obtida teoricamente pela fórmula de Manning. Com esses dados foi possível a realização de cálculos para os métodos de Duboys e Zeller (1963), Einstein (1942) com Peter-Meyer e Yang (1973).

Foi possível verificar uma semelhança entre as vazões do rio Água das Barras e do rio do Campo. A soma dessas duas vazões se aproxima com a vazão da junção dos rios, estabelecendo a relação de continuidade. Entretanto, esta ainda é maior, devido à formação de nascentes que existem entre as seções estudadas, as quais puderam ser observadas em idas a campo, sendo uma delas observada também na figura 8, a qual mostra as características físicas do entorno das seções estudadas.

Desta forma, estas nascentes acabam contribuindo com a vazão encontrada na seção da junção dos rios. Quanto à declividade, a maior observada foi no rio Água das Barras e a menor na junção dos rios, com valor próximo à seção do rio do Campo.

Tabela 3. Dados hidrométricos das seções em estudo.

Ponto 1	Seção (m)	Área da seção (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Raio Hidráulico (m)	Veloc. (m/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Decliv. (m/m)
Rio Água das Barras	3,40	1,41	3,79	0,37	0,42	0,595	0,0004148
Rio do Campo	4,10	1,68	4,67	0,36	0,35	0,583	0,0002972
Junção dos rios	4,90	2,95	5,22	0,57	0,45	1,335	0,0002740

A tabela 4 apresenta os resultados de descargas de sedimentos de fundo e em suspensão. Para a descarga de fundo os métodos apresentados não apresentaram grandes diferenças, obtendo-se médias de 0,159 Kg/s; 0,071 Kg/s e 0,249 Kg/s para o rio Água das Barras, rio do Campo e junção dos rios respectivamente. A planilha de cálculo das descargas de fundo, suspensão e das concentrações experimentais e teóricas é apresentada no Apêndice A.

Para as descargas suspensas, os métodos também apresentaram valores com ordem de grandezas próximas, com médias de 0,058 Kg/s para o rio Água das Barras, 0,043 Kg/s para o rio do Campo e 0,285 Kg/s para a junção dos rios.

Apesar dos métodos apresentados terem sido desenvolvidos em épocas e locais com características distintas, como por exemplo, o solo, clima e formato da bacia, eles não acarretaram em diferenças significativas. É possível observar também que os resultados dos métodos se assemelham aos obtidos experimentalmente, levando-se a acreditar que os métodos propostos neste trabalho podem ser aplicados em bacias com características semelhantes à bacia hidrográfica do rio do Campo.

Houve uma similaridade em relação à seção da junção dos rios, apresentando uma maior quantidade de sedimentos de fundo e suspenso para todos

os modelos matemáticos utilizados, o que era esperado, uma vez que nesta seção recebem-se descargas de sedimentos de mais de um contribuinte.

É importante ressaltar que a descarga de sedimentos não é maior necessariamente quando a vazão também é maior. Isto porque a carga de sedimentos não acompanha somente o regime hidrológico do rio, pois é dependente de outros fatores, como cobertura vegetal e uso e ocupação do solo (LELI, 2010).

**Tabela 4. Estimativas das descargas de sedimento para as seções de coleta.**

	02/03/2012	Rio Água das barras	Rio do Campo	Junção dos rios
	Dubois e Zeller (1963)	0,171	0,049	0,278
<b>Fundo (Kg/s)</b>	Einstein (1942) com Peter-Meyer	0,148	0,093	0,219
	Média	0,159	0,071	0,249
	Yang (1973)	0,049	0,021	0,077
<b>Suspensão (Kg/s)</b>	Dubois e Zeller (1963)	0,067	0,037	0,435
	Einstein (1942) com Peter-Meyer	0,058	0,072	0,344
<b>Righetto (1998)</b>	Média	0,058	0,043	0,285
	Experimental (Kg/s)	0,053	0,073	0,117

As concentrações apresentadas para a descarga em suspensão estão em ppm (partículas por milhão) para as concentrações calculadas e experimentais (tabela 5).

Na seqüência, foram realizadas as médias das concentrações destes métodos, obtendo-se 97 ppm, 75 ppm e 214 ppm para o rio Água das Barras, rio do Campo e junção dos rios, respectivamente.

Para as concentrações experimentais os resultados foram de 90 ppm para o rio Água das Barras, 125 ppm para o rio do Campo e 88 ppm para a junção dos rios.

Quando aferida a concentração experimental da carga em suspensão, o rio Água das Barras apresentou valor menor do que o rio do Campo, entretanto, não é possível afirmar que o maior contribuinte de sedimentos no Parque do Lago é o rio do Campo. Isso porque a média da concentração obtida teoricamente resultou em uma maior concentração no rio Água das Barras e, como observado na tabela 4 e 5, as diferenças entre o teórico e o experimental é pequena.

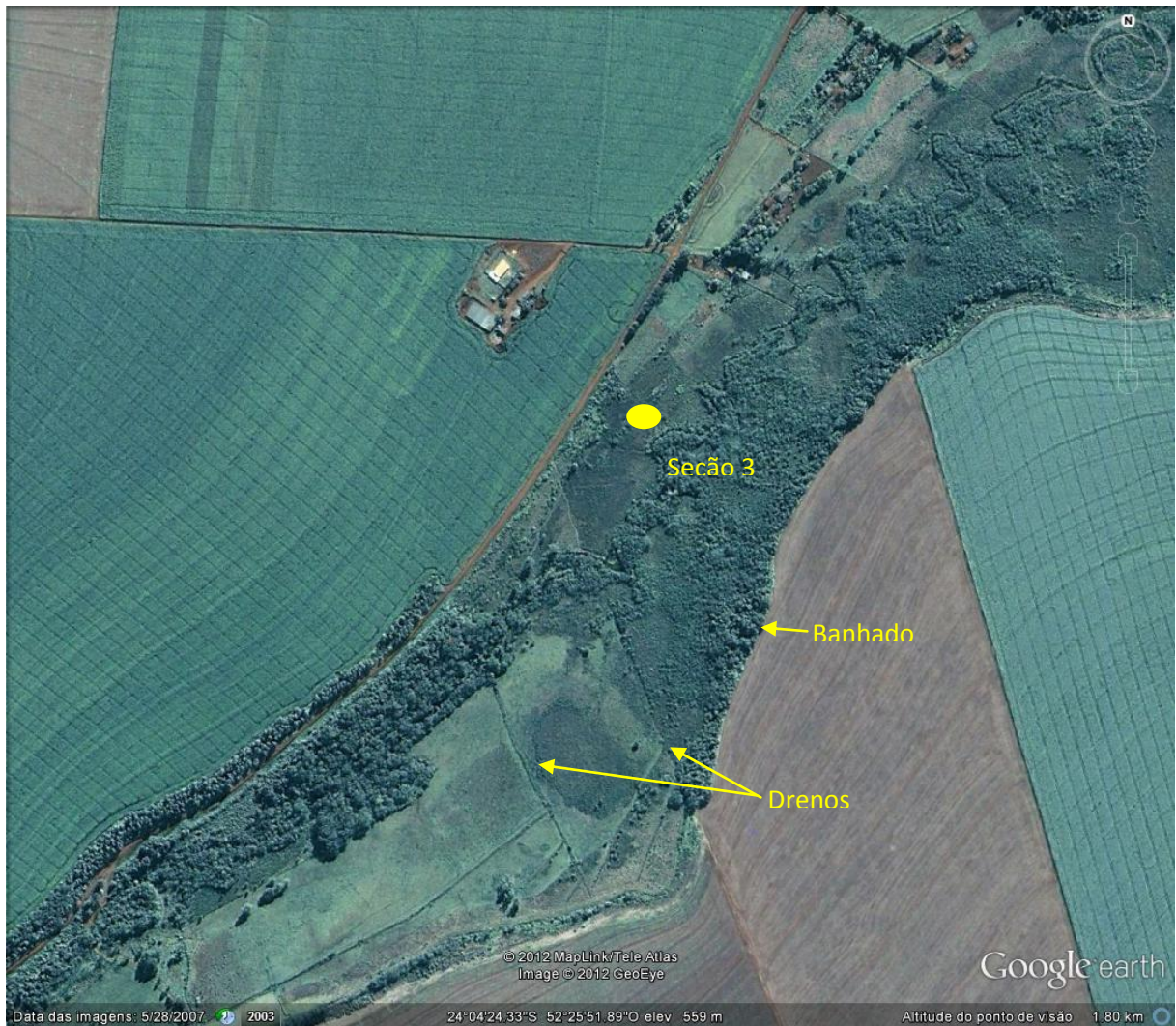
Desta forma, o mais recomendado seria realizar outras campanhas de amostragem para ter um respaldo e conseguir responder qual é a seção que contribui com o maior aporte de sedimentos dentro do Parque Joaquim Teodoro de Oliveira, pois o tempo de estudo destinado a este trabalho foi insuficiente para isso.

**Tabela 5. Concentrações calculadas e experimentais.**

<b>02/03/2012</b>		<b>Rio Água das barras</b>	<b>Rio do Campo</b>	<b>Junção dos rios</b>
	Yang (1973)	82	37	58
<b>Suspensão</b>	Dubois e Zeller (1963)	112	64	327
<b>(ppm)</b>	Einstein (1942) com Peter-Meyer	97	123	258
<b>Righetto (1998)</b>	Média	97	75	214
	Experimental	90	125	88

Ao observar os resultados das concentrações experimentais percebe-se que o valor da junção dos rios é a menor de todas as seções. Na realidade, à montante deste ponto, é possível visualizar áreas de banhados (turfa). Estas áreas apresentam menos declividade, são mais planas e, conseqüentemente a velocidade da água é menor, retendo o material antes de chegar à seção da junção (seção 3). Essas características podem ser notadas em idas a campo. Para melhor entendimento, é apresentada a imagem deste ponto (figura 20).





**Figura 20. Detalhes da seção após a junção entre o rio Água das Barras e rio do Campo.**

**Fonte: Google Earth (2007). Escala aproximada 1:5.000.**

O rio do Campo e o rio Água das Barras são afluentes do rio Mourão e, fazem parte da bacia do rio Ivaí. A dissertação de Leli (2010) relata que o rio Mourão é um dos principais tributários do rio Ivaí e, contribui com um aporte de sedimentos de  $45,8 \times 10^3$  ton/ano.

Em relação ao Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, considerando a carga suspensa experimental da junção dos rios e, transformando as unidades em ton/ano, é possível afirmar que adentra no parque aproximadamente 3.704,80 ton/ano.

Quando utilizadas as cargas suspensas experimental do rio Água das Barras e rio do Campo, realizando o mesmo processo de transformação de unidade para ton/ano obteve-se respectivamente 1.688,67 ton/ano e 2.298,125 ton/ano. Somando-se estes dois valores, encontra-se aproximadamente 3.986,80 ton/ano, ou seja, o

valor da soma dos dois rios é bastante próximo ao valor da junção, o que leva-se a acreditar que os valores experimentais são confiáveis.

Somando-se os valores das cargas suspensas da junção dos rios (3.704,80 ton/ano) e a média das cargas de fundo da mesma seção (7.852,46 ton/ano), obtém-se o valor de 11.557,26 ton/ano, ou seja, a bacia hidrográfica do rio do Campo contribui com um aporte de sedimentos de aproximadamente  $11,56 \times 10^3$ , sendo mais de 25% dos  $45,8 \times 10^3$  ton/ano que o rio Mourão produz.

#### 5.4 EROSÃO

O diagrama de Shields leva em consideração o diâmetro médio da partícula  $d$ , a tensão de cisalhamento  $\tau_0$ , o peso específico do sólido  $\gamma_s$ , o peso específico da água  $\gamma$  e o coeficiente de Reynolds  $Re^*$ . Com base nos resultados obtidos, e comparando-se com o diagrama, todas as seções analisadas sofrem o processo de erosão, ou seja, todas as seções encontram-se bem acima da linha do início de movimentação de partículas.

A tabela 6 especifica os dados do rio das Águas das Barras, rio do Campo e junção dos rios, sendo na junção o ponto que ocorre o maior processo de erosão.

**Tabela 6. Parâmetros utilizados para o Diagrama de Shields.**

<b>02/03/2012</b>	$\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma).d}$	$Re^* = u^*d/\nu$
<b>Rio Água das Barras</b>	0,22	81,6
<b>Rio do Campo</b>	0,53	119,4
<b>Junção dos rios</b>	1,28	164,9

## 5.5 MATÉRIA ORGÂNICA

A tabela 7 identifica o resultado da matéria orgânica. É observado que a maior quantidade de matéria orgânica encontra-se na junção dos rios, seção, também onde ocorre maior erosão, segundo o diagrama de Shields.

É comum relacionar a matéria orgânica e a erosão como sendo inversamente proporcionais, pois é de fácil compreensão que a matéria orgânica encontra-se no horizonte superior do solo e, devido à sua alta concentração, conclui-se que a erosão é menor, pois maior é a capacidade de infiltração diminuindo a erodibilidade do solo, além disso, a matéria orgânica aumenta a coesão do sedimento diminuindo a suspensão e o arraste.

**Tabela 7. Matéria orgânica nas seções coletadas.**

<b>Fevereiro</b>	<b>Matéria orgânica (%)</b>
Rio Água das Barras	0,1854
Rio do Campo	0,2973
Junção dos rios	0,8734

Entretanto, essa relação não é única, fato que pode ser observado neste trabalho. A seção da junção dos rios dista aproximadamente 2 km da seção 1 (rio do Campo), sendo a agricultura a atividade que envolve todo este percurso. Podem ser visualizados drenos à montante do ponto da junção (figura 20), direcionando toda a contribuição da estrada, dos fertilizantes e agrotóxicos utilizados na agricultura para este ponto. Sendo assim, a seção da junção dos rios apresenta maior quantidade de matéria orgânica proveniente das atividades antrópicas.

A figura 21 ilustra o local de estudo, onde é possível observar que na seção 1 (rio do Campo), devido à menor quantidade de cobertura vegetal, possivelmente há maiores quantidades de fertilizantes, acarretando em maiores porcentagens de matéria orgânica, como pode ser observado na tabela 7. A seção 2 (rio Água das Barras) é uma área mais preservada, com maior quantidade de vegetação, a qual retém a matéria orgânica proveniente da agricultura.

Desta forma, a relação inversamente proporcional entre erosão e matéria orgânica não se aplica neste trabalho, esclarecendo que diversos fatores contribuem

com o aporte de matéria orgânica em uma determinada seção, não podendo excluir, principalmente, a atividade desenvolvida no local, ou seja, o uso e ocupação do solo.



**Figura 21. Imagem das seções estudadas. Seção 1 – rio do Campo. Seção 2 – rio Água das Barras.**

**Fonte: Google Earth (2007). Escala aproximada 1:5.000.**

## 5.6 PREVISÃO DE ASSOREAMENTO

Para estimativa do volume de sedimentos retido no Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, será considerado que a área da superfície da água é de aproximadamente 100.000 m<sup>2</sup> e a profundidade média é de 1 m. Para verificar a largura do parque, foi determinada a largura do reservatório em seções

eqüidistantes, multiplicando-se pelo comprimento da largura média. Desta forma, o volume do reservatório aproximado é de 100.000 m<sup>3</sup>.

A descarga sólida total média afluyente foi calculada com base na soma da descarga sólida experimental em suspensão e a média da descarga mássica de fundo, encontrando-se 11.557,26 ton/ano ou 31,67 ton/dia.

A eficiência de retenção do sedimento afluyente ao reservatório  $E_r$  foi baseada em Carvalho et al.; (2000b) para pequenos reservatórios, com valor de 50%.

O peso específico aparente médio dos depósitos  $\gamma_{ap}$  (t/m<sup>3</sup>), também foi retirado de Carvalho et al.; (2000b), considerado o valor de 1,5 t/m<sup>3</sup>.

Substituindo os valores na expressão abaixo, obtém-se:

$$S = \frac{D_{st} \times E_r}{\gamma_{ap}} = \frac{365 \times Q_{st} \times E_r}{\gamma_{ap}} = \frac{365 \times 31,67 \times 0,5}{1,5} = 3.853,18 \text{ m}^3 / \text{ano}$$

$$T = \frac{V_{res}}{S} = \frac{100.000}{3.853,18} = 26 \text{ anos}$$

O tempo encontrado refere-se ao assoreamento total do reservatório e, não às ilhas formadas em pontos ao longo do reservatório, como pode ser observado em visitas ao parque. Estas ilhas são formadas em curto espaço de tempo, chegando a concluir que o tempo de 26 anos de assoreamento total é superior à realidade local.

É imprescindível ressaltar que neste trabalho não foram consideradas as vazões de picos, apenas as vazões contínuas. A primeira influencia mais que a última, principalmente em pequenos reservatórios. Para Carvalho et al., (2000a), “Os pequenos lagos estão sujeitos a um assoreamento rápido, o que pode acontecer até mesmo numa única enchente”.

Sendo assim, o presente trabalho não considera épocas de chuvas, apenas a aferição de um dia de coleta, o que acarreta em tempos não precisos.

## 5.7 PROPOSTA DE MANEJO DO RESERVATÓRIO

A vida útil do reservatório Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira pode ser aumentada se tomadas algumas precauções, como dispositivos de retenção de sólidos e aumento da velocidade dentro do reservatório.

Como foi explicado anteriormente, logo no início do parque há uma quantidade predominante de partículas maiores, devido ao aumento da área e, conseqüentemente, a diminuição da velocidade da água. Desta forma, antes do reservatório, podem ser colocadas chicanas para fazer com que esse material sedimente devido à baixa velocidade com que a água será obrigada a passar (figura 22).



Figura 22. Proposta de manejo do Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira.  
Fonte: Google Earth (2012). Escala aproximada 1:4.500.

As chicanas podem ser projetadas com espaçamento diferente entre elas para ofertar a retenção de sedimentos mais finos, quando o espaçamento é menor, pois a velocidade é maior e também oferecer a sedimentação de partículas maiores, quando o espaçamento é maior e a velocidade da água diminui. É importante que haja um *bypass* para permitir o desvio da água quando for necessário realizar a limpeza do local, como mostrado na figura acima pela linha preta mais fina.

Para realizar essas construções dentro do parque, é necessário que o estudo seja avaliado e aprovado pelo órgão competente. Pode ser que o local onde as chicanas estão instaladas não seja viável, devido à concentração da fauna e da flora ali existentes. Entretanto, nada impede que as chicanas sejam construídas mais ao interior do reservatório, contornando os problemas supracitados.

No interior do reservatório, a construção de ilhas fará com que a área diminua e a velocidade aumente, fazendo com que a deposição atinja concentrações menores. A última ilha no final do reservatório pode ser utilizada como um local para o crescimento de peixes, servindo também como proteção contra seus predadores e aumentando a biodiversidade do local.



## 6 CONCLUSÕES

Os métodos propostos para a estimativa da descarga de sedimentos não apresentaram variações bruscas nos resultados, ficando próximos aos resultados experimentais. Devido a esta analogia, é possível que estes modelos matemáticos possam ser aplicados em bacias hidrográficas com características parecidas com a bacia hidrográfica do rio do Campo.

As análises granulométricas mostraram resultados satisfatórios em relação à caracterização do local de coleta, uma vez que demonstrou o processo de assoreamento dentro do Parque do Lago com as porcentagens de materiais já esperadas em cada ponto.

O assoreamento total do reservatório do Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira é de 26 anos. Entretanto, a informação encontrada não é completamente confiável, pois apesar do estudo conseguir quantificar as descargas de sedimentos, ainda necessitaria de alguns anos de estudo, considerando também as vazões de picos, pois as descargas de sedimentos utilizadas neste estudo foram baseadas em uma única campanha de coleta, devido à alta demanda de tempo para a aferição dos testes necessários.

Neste trabalho, foi considerado que a altura da lâmina d'água atinge 1 m de profundidade, sendo um valor sem históricos e embasamentos concretos. Assim, é possível que o reservatório possua um volume menor do que os 100.000 m<sup>3</sup> e, levando-se em consideração os fatores acima mencionados, a vida útil do reservatório seja bem menor que 26 anos.

Além disso, é possível visualizar que o nível de assoreamento em determinados locais do lago acontece em um curto espaço de tempo, ou seja, em algumas áreas, o assoreamento está avançado, mostrando mais uma vez a importância de determinar as vazões de picos.

Embora os métodos para determinar as descargas de sedimentos tenham sido satisfatórios, devem ser estudados e aplicados outros métodos, para fins de comparação, além de ser necessário realizar anos de coletas e análises na bacia hidrográfica do rio do Campo.

O estudo mostrou que dentro da mesma bacia hidrográfica, as características sedimentológicas são distintas, pois cada segmento possui coberturas vegetais, rochas que constituem o solo e ações antrópicas diferentes.

A proposta de manejo do parque considera que a vida útil do reservatório não seja muito curta, pois inviabilizaria o projeto. Após realizar um estudo completo da bacia hidrográfica do rio do Campo, levando-se em consideração o histórico do índice pluviométrico do município, seria possível afirmar se a proposta é viável ou não.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2011. Disponível em: <WWW.aneel.gov.br>. Acesso em: 20 abril 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

AVANZI, Junior C; SILVA, Marx L. N; CURI, Nilton; MELLO, Carlos R; FONSECA, Sebastião. Calibração e aplicação do modelo MUSLE em uma microbacia hidrográfica nos tabuleiros costeiros brasileiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 61, p. 563-569. 2008. Disponível em < [www.dcs.ufpa.br/site/\\_adm/upload/file/pdf/Prof Marx/Aula 5/ Art estudo/Avanzi 2008\\_MUSLE.pdf](http://www.dcs.ufpa.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof%20Marx/Aula%205/Art%20estudo/Avanzi%202008_MUSLE.pdf)>. Acesso em: 17 jan. 2012.

BROOKS, K.N.; FFOLIOTT, P.F.; GREGERSEN, H.M.; DEBANO, L. F. **Hydrology and the management of watersheds**. 3. ed. Iowa: 2003.

CABRAL, J. B. P. Estudo do processo de assoreamento em reservatórios. **Programa de Pós Graduação em Geografia – UFU**. p. 62-69, dez. 2004. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/viewFile/10185/6054>> . Acesso em: 25 set. 2011.

CARNEIRO, Máisa G; FERREIRA, José H. D. Caracterização da vegetação arbórea do município de Campo Mourão – PR. In: Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 15, 2010, Cornélio Procópio, PR. **Anais...** Cornélio Procópio, PR.: UTFPR, 2010. 1 CD- ROM.

CARVALHO, Newton O. **Hidrossedimentologia Prática**, 2º edição. Rio de Janeiro: CPRM/Eletróbrás, 1994.

CARVALHO, Newton O; FILIZOLA JUNIOR, N. P; SANTOS, P. M. C; LIMA, J. E. F. W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL, 2000a. 140p.

CARVALHO, Newton O; GUILHON, Luiz G; TRINDADE, Pedro A. O assoreamento de um pequeno reservatório – Itiquira, um estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, jan/mar. 2000b. Disponível em:

<<http://www.abrh.org.br/novo/arquivos/artigos/v5/v5n1/v51assoreamentofinal.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

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

CHELLA, Márcia R; FERNANDES, Cristóvão V. S; FERMIANO, Gilmar A; FILL, Heinz D. Avaliação do transporte de sedimentos no rio barigui. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Curitiba, v. 10, n. 3, jul/set. 2005. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/novo/detalha.php?id=436&t=Avalia%E7%E3o+do+Transporte+de+Sedimentos+no+Rio+Barig%FCi>>. Acesso em: 27 set. 2011.

COLAVITE, Ana Paula. **Geotecnologias Aplicadas a Análise da Paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio do Campo, Paraná-Brasil**. 2009. Disponível em: [http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:ZQ11XHFtp4J:egal2009.easyplanners.info/area04/4033\\_Colavite\\_Ana\\_Paula.doc+GEOTECNOLOGIAS+APLICADAS+A+AN%C3%81LISE+DA+PAISAGEM+NA+BACIA+HIDROGR%C3%81FICA+DO+RIO+DO+CAMPO,+PARAN%C3%81BRASIL&hl=ptBR&gl=br&pid=bl&srcid=ADGEEESirl2AjSaVPuuWJA5BuVAA6cdXjzTFQzQfgrwx41FcLp8vRMophGHfQXrHc0IPk7FK5vFswsJ6PJqNq2AB\\_IOJxbToMfMNYkhv6hHXJBfoufq4oPv\\_tH8lv3mE1un0IQbiFm5&sig=AHIEtbR9mmhvr9-Por7\\_1geSsZEVIKGw](http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:ZQ11XHFtp4J:egal2009.easyplanners.info/area04/4033_Colavite_Ana_Paula.doc+GEOTECNOLOGIAS+APLICADAS+A+AN%C3%81LISE+DA+PAISAGEM+NA+BACIA+HIDROGR%C3%81FICA+DO+RIO+DO+CAMPO,+PARAN%C3%81BRASIL&hl=ptBR&gl=br&pid=bl&srcid=ADGEEESirl2AjSaVPuuWJA5BuVAA6cdXjzTFQzQfgrwx41FcLp8vRMophGHfQXrHc0IPk7FK5vFswsJ6PJqNq2AB_IOJxbToMfMNYkhv6hHXJBfoufq4oPv_tH8lv3mE1un0IQbiFm5&sig=AHIEtbR9mmhvr9-Por7_1geSsZEVIKGw) Acesso em: 20 de jun. de 2012.

COLLISCHON, Walter; SEMMELMANN, Franz Rainer; ROCKENBACH, Carlos Alberto. Drenagem urbana e sedimentos: o caso do arroio dilúvio. In: Carlos E. M. Tucci; David da Motta Marques. (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, v. 2, p. 521-548, 2001.

DINEHART, Randal L. **Sediment transport at gagging stations near Mount St. Helens, Washington, 1980-90, data collection and analysis**. Washington: USGS, 1997. Disponível em: <[http://vulcan.wr.usgs.gov/Projects/Sediment\\_Trans/PP1573/PDF/PP1573.pdf](http://vulcan.wr.usgs.gov/Projects/Sediment_Trans/PP1573/PDF/PP1573.pdf)> Acesso em: 05 jan 2012.

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

EINSTEIN, H. A. Fluvial Resistance of Composite Roughness, **Trans. Am. Geophys.**, vol. 31. 1950.

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

ELETROBRÁS/IPH. **Diagnóstico das condições sedimentológicas dos principais rios brasileiros**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1992.

FONTOURA, JOSÉ, A. S. **Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos molhes da barra do rio grande, RS**. 2004. 281 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5350>>. Acesso em: 18 abril 2012.

FLORENZANO, Tereza G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Texto, 2002.

GRAF, Walter. H. **Hydraulics of Sediment Transport**. Colorado – USA: McGraw Hill Book Company. 1971.

GOOGLE, Earth. Imagem de satélite do Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira. Campo Mourão, 2012. Escala 1:4.500. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 10 mai 2012.

GOOGLE, Earth. Imagem de satélite dos pontos coletados. Campo Mourão, 2007. Escala 1:5.000. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 10 mai 2012.

GOOGLE, Earth. Imagem de satélite do entorno das seções estudadas. Campo Mourão, 2007. Escala 1:13.000. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 10 mai 2012.

LANA, Cláudio Eduardo; CASTRO, Paulo de Tarso Amorim. Análise sedimentológica e de proveniência de sedimentos fluviais nas cabeceiras do rio das velhas, município de Ouro Preto, MG . **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 61, n. 01, jan/mar. 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672008000100011](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672008000100011)>. Acesso em: 25 set. 2011.

LELI, Isabel T. **Variação espacial e temporal da carga suspensa do rio Ivaí**. 2010. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2010.

LIMA, Jorge E. F. W; SILVA, Euzebio M da. Seleção de modelos para o traçado de curvas granulométricas de sedimentos em suspensão em rios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 01, p.101-107,

agosto. 2006. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n1/v11n1a13.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2011.

MAACK, Reinhard. Breves notícias sobre a geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina. **Arq. Inst. Biol. Pesq.**, Curitiba, v.1 n.9, p. 169-288, 1947.

MAHMOOD, K. **Reservoir sedimentation: Impact, extent and mitigation.** Washington, DC: Sectoral Library, 1987.

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

MOREIRA, Ricardo C, A; BOAVENTURA, Geraldo R. Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da bacia do Lago Paranoá – DF. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 6, p. 812-820, nov/dez 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010040422003000600006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010040422003000600006)> . Acesso em: 16 set. 2011.

NOGUEIRA, João B. **Mecânica dos solos.** São Carlos: Eesc-usp, 2005.  
RIGHETTO, Antônio M. **Hidrologia e Recursos Hídricos.** São Carlos: EESC/USP, 1998.

SANCHEZ, J.E. **Fundamentos de Hidrologia.** Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, 1987.

SHIELDS, A. **Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und Turbulenzforschung auf die Geschiebewegung.** Berlin: Preussischen Versuchsanstalt für Wasserbau. 1936.

**Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 19° edição. Washington, DC, USA: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 1995.

VILLELA, S. M; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada.** São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

ZACHAR, Dusan. **Soil erosion: developments in soil science.** New York: Elsevier Scientific, 1982.

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

## **APÊNDICE A – Planilha para Cálculos e Aplicação das Fórmulas**



Tabela A.1: Planilha para Cálculos e Aplicação das Fórmulas

(continua)

	Seções	Rio das Barras	Rio do Campo	Junção dos rios	
	Datas	2/3/2012	2/3/2012	2/3/2012	
	$d$ (m)	0,00027	0,00026	0,00024	
	Vazão, $Q$ ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )	0,595	0,583	1,335	
	Rugosidade de Manning, $n$	0,025	0,025	0,025	
	Largura, $B$ (m)	3,4	4,1	4,9	
	Area, $A$ ( $\text{m}^2$ )	1,41	1,675	2,95	
	Perímetro, $P$ (m)	3,79	4,67	5,22	
Características Hidráulicas	$So \left( \frac{n \cdot Q}{A^{5/3} P^{-2/3}} \right)^2$ , Teórica (Manning) ( $\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$ )	0,0004148	0,0002972	0,0002740	
	$U$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	0,421	0,348	0,452	
	$q$ ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-1}$ )	0,175	0,142	0,272	
	$Rh$ (m)	0,373	0,359	0,565	
	$\tau_{\text{f}} = \gamma * Rh * So$ ( $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ )	1,516	1,045	1,519	
	$\frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d}$	0,37	0,26	0,41	
	$u^*$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	0,0389	0,0323	0,0390	
	$Re^* = \frac{u_* \cdot d}{\nu}$	105,1	84,1	93,5	
	Ocor. Erosão	Sim	Sim	Sim	
	$\tau_o$ ( $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ )	1,516	1,045	1,519	
Dubois e Zeller	$\tau_{o \text{ crit}}$ ( $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ )	0,82	0,81	0,80	
	$\tau_{o \text{ s}}$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )	4,6	4,7	5,0	
	$\tau_o$ ( $\text{m}^6 \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$ )	0,00180	0,00185	0,00197	
	$q_s = \frac{\chi \cdot \tau_o \cdot (\tau_o - \tau_{o \text{ crit}})}{g^2} \cdot \rho_s$ ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ )	0,05020	0,01191	0,05676	
	$Qs = qs \cdot L$ ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ )	0,1707	0,0488	0,2781	
	$\Psi = \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\tau_o} \right) \cdot d_m$	2,726	3,806	2,418	
	$\phi = \left( \frac{4}{\Psi} - 0,188 \right)^{3/2}$	1,447	0,802	1,775	
	Einstein (1942) com Peter-Meyer	$w_s = \sqrt{\frac{3}{2} \cdot g \cdot \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) d_m}$	0,111	0,109	0,105
		$q_s = \phi \cdot \rho \cdot w_s$ ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ )	0,043	0,023	0,045
		$Qs = qs \cdot L$ ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ )	0,148	0,093	0,219

Tabela A.1: Planilha para Cálculos e Aplicação das Fórmulas

(conclusão)

Características Hidráulicas	Seções	Rio das Barras	Rio do Campo	Junção dos rios
	Datas	2/3/2012	2/3/2012	2/3/2012
	$\frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d}$	1,56	1,56	1,56
	$S_* = \frac{D_N}{4 \cdot v} \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot D_N}$	4,34	4,10	3,64
	$v_s = \frac{\sqrt{g \cdot R \cdot D_N}}{\left( A + \frac{B}{S_*} \right)}$	0,030	0,029	0,026
Yang	$U_c = v_s \left( \frac{2,5}{\log(U_* \cdot d/v) - 0,06} + 0,66 \right) \text{ ou } 2,05$	0,06175	0,05870	0,05260
	$a_1 = 5,435 - 0,286 \cdot \log\left(\frac{v_s \cdot d}{v}\right) - 0,457 \cdot \log\left(\frac{U_*}{v_s}\right)$	5,124	5,162	5,126
	$a_2 = 1,799 - 0,409 \cdot \log\left(\frac{v_s \cdot d}{v}\right) - 0,314 \cdot \log\left(\frac{U_*}{v_s}\right)$	1,392	1,426	1,419
	$\log(Cs) = a_1 + a_2 \cdot \log\left(\frac{U \cdot S}{v_s} - \frac{U_c \cdot S}{v_s}\right)$	1,915	1,565	1,763
	Cs (ppm)	82,2	36,7	57,9
	$Qs = Q \cdot Cs \text{ (kg} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	0,049	0,021	0,077
	C <sub>o</sub> (Duboys e Zeller) (ppm)	19553	6869	20440
	C <sub>o</sub> (Einstein com Peter Meyer) (ppm)	16942	13136	16106
Suspensão	$w_s / K \cdot u^*$	7,149	8,447	6,734
	h (m)	0,415	0,409	0,602
	INTEGRAL ( Calculadora HP)	0,0024	0,0038	0,0096398
	Duboys e Zeller	112	64	327
	Einstein com Peter Meyer	97	123	258
C média - Suspensão (ppm)	Yang	82	37	58
	Média	97	75	214
	Experimental	90	125	88