UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS

ESTUDO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA DO RIO DESCOBERTO

CRISTINA CAETANO BICALHO

ORIENTADOR: SERGIO KOIDE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS

PUBLICAÇÃO PTARH – D.M. 95/2006
BRASÍLIA/DF: JUNHO – 2006

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS

ESTUDO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA DO RIO DESCOBERTO

CRISTINA CAETANO BICALHO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA.

APROVADA POR:

_____

SÉRGIO KOIDE, PhD (UnB)
(ORIENTADOR)

_____

NESTOR ALDO CAMPANA, DSc (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

_____

EVALDO MIRANDA COIADO, DSc (UNICAMP)
(EXAMINADOR EXTERNO)

FICHA CATALOGRÁFICA

BICALHO, CRISTINA CAETANO

Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Descoberto. [Distrito Federal] 2006.

xviii, 123p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2006).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1.Transporte de sedimentos	2.Sedimentos em suspensão
3. Monitoramento	4. Assoreamento de reservatórios
I. ENC/FT/UnB	II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BICALHO, C. C. (2006). *Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Descoberto*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM–95/2006, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Cristina Caetano Bicalho.

TÍTULO: Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Descoberto.

GRAU: Mestre ANO: 2006

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Cristina Caetano Bicalho
crstn@terra.com.br

Em memória de minhas avós

Nair e Terezinha.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, pela saúde e pelas oportunidades de crescer como pessoa e como profissional.

Ao professor Sergio Koide, pela orientação, ensinamentos e exemplos de dedicação e profissionalismo.

Aos professores Cristina, Nabil, Marco Antônio, Oscar e Nestor, pelos conhecimentos transmitidos ao longo do curso.

À oportunidade de conhecer pessoas maravilhosas no mestrado, colegas de sala, dos corredores e laboratório.

À CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa de mestrado recebida durante o período desta pesquisa.

Ao MCT/CT-Hidro, FINEP e FINATEC, pelo financiamento do Projeto Descoberto e auxílio no desenvolvimento experimental desta dissertação.

À equipe do projeto Descoberto, em especial ao Pufal e ao Júnior, pelo grande apoio prestado nos trabalhos de campo.

À CAESB pelos dados fornecidos e pelo apoio logístico nos trabalhos de campo, em especial ao Augusto, à Neiva e ao Rômulo.

Ao Jorge Lima, pelos conselhos e esclarecimentos prestados.

À ANA – Agência Nacional de Águas e ao Professor Newton Carvalho, pela oportunidade de participar do curso de Hidrossedimentologia.

Ao Gabriel, Ilza e Deborah, pela amizade e assistência prestadas durante todo esse período.

Aos meus amigos, parceiros de espeleologia e de escaladas, amigos que moram longe, amigos que são amigos há anos, sempre presentes nos momentos mais marcantes.

Aos meus pais e irmãos, pelo amor, incentivo e pela confiança incondicionais, sempre prestados com muito carinho.

RESUMO

ESTUDO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA DO RIO DESCOBERTO.

Autor: Cristina Caetano Bicalho
Orientador: Sergio Koide
Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
Brasília, Junho de 2006.

Neste estudo foi realizado o levantamento de dados sedimentométricos em cursos d'água localizados a montante e a jusante do reservatório do Descoberto-DF com o objetivo de buscar um melhor conhecimento sobre o transporte de sedimentos nessa bacia. Foram realizadas campanhas mensais de junho de 2005 a fevereiro de 2006 para a determinação das descargas de sedimentos em suspensão com a utilização do amostrador de profundidade do tipo USDH-59 e a utilização do método de amostragem do Igual Incremento de Largura.

Considerando-se que levantamentos sedimentométricos são trabalhosos e onerosos e buscando-se alternativas para torná-los mais práticos e rápidos, foram realizados estudos sedimentométricos das seções transversais em que buscou-se avaliar a representatividade das verticais da seção e avaliar-se possíveis correlações entre a concentração de sedimentos em suspensão em amostras coletadas na margem com a concentração média da seção.

Os estudos mostraram que, aparentemente, a sub-bacia do ribeirão das Pedras teve o seu nível de degradação reduzido ao comparar-se os anos de 1989 e 2005. O Capão Comprido, uma pequena bacia rural, apresenta alta descarga específica de sedimentos em suspensão em comparação com outras sub-bacias com características semelhantes. A seção do rio Descoberto a jusante do reservatório e do rio Melchior, apresentou descarga de sedimentos considerada muito alta.

Os resultados obtidos foram utilizados para avaliar o assoreamento do reservatório do Descoberto e verificou-se que as descargas sólidas dos tributários do reservatório foram possivelmente subestimadas. As causas para isso podem estar relacionadas às curvas-chave de sedimentos obtidas e seus pequenos intervalos de aplicação, à utilização de valores médios diários de vazão para a estimativa das descargas sólidas, além das limitações intrínsecas aos métodos utilizados, considerando-se que pequenas bacias podem exigir metodologia específica para resultados mais precisos.

ABSTRACT

THE STUDY TRANSPORT OF SUSPENDED SEDIMENT IN THE DESCOBERTO RIVER WATERSHED.

Author: Cristina Caetano Bicalho
Supervisor: Sergio Koide
Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
Brasília, June of 2006.

In this study, sedimentometric data were collected in streams located upstream and downstream the Descoberto reservoir, with the objective of improving the knowledge about the sediment transport in this watershed. Monthly data collection campaigns from June-2005 to February-2006 were carried out to determine suspended sediments loads using a depth sampler, type USDH-59 and adopting the sampling method of the Equal Increment of Width.

Considering that sediment yield surveys are laborious and expensive, and searching for alternatives to make them more practical and fast, studies on sediment yield distribution on the transversal sections were accomplished, aiming to determine the most representative verticals in the transversal section and to evaluate possible correlation between suspended sediment concentration in samples collected near river bank and the average concentration on the transversal section.

The studies demonstrated that ribeirão das Pedras stream had its level of degradation apparently reduced if the years of 1989 and 2005 are compared. It was observed that the Capão Comprido, a small agricultural basin, presented high specific suspended sediment load, in comparison with other basins with similar characteristics. The section downstream the Descoberto reservoir and the Melchior river, presented a suspended sediment production considered very high.

The results of this study were used to evaluate the sedimentation in the Descoberto reservoir and it was verified that the sediment yield of its tributaries was possibly underestimated. The reasons for this can be related to the sediment rating curves and its short range of discharges, the use of mean daily flows for estimating daily sediment loads, and all the intrinsic limitations of the used methods, considering that small watersheds may demand specific methodology for more precise results.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO **1**

2 - OBJETIVOS **3**

3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA **4**

3.1 - A DINÂMICA DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS **4**

3.2 - GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS **5**

3.3 - O LEVANTAMENTO SEDIMENTOMÉTRICO **7**

3.3.1 - Amostradores – amostragem manual **7**

3.3.2 - Amostragem de sedimentos em suspensão **9**

3.3.2.1 - Método de amostragem – escolha das verticais 12

3.3.3 - Análises de laboratório **13**

3.3.4 - Cálculo da descarga sólida em suspensão (DSS) **15**

3.3.5 - Cálculo da descarga sólida total **17**

3.3.6 - Curva-chave de sedimentos (CCS) **19**

3.4 - ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS **19**

3.4.1 - Previsão de assoreamento em reservatórios **20**

3.4.1.1 - Eficiência de retenção 21

3.4.1.2 - Peso específico dos depósitos de sedimento 22

4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **25**

4.1 - AMOSTRAGEM **27**

4.2 - A CURVA-CHAVE DE SEDIMENTOS **30**

4.3 - SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO X TURBIDEZ **33**

4.4 - ESTUDOS ANTERIORES **35**

4.4.1 - Estudo sedimentométrico CAESB - 1989 ..... **35**

5 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO **37**

5.1 - CLIMA **40**

5.2 - SOLOS **44**

5.3 - VEGETAÇÃO **47**

5.4 - USOS DO SOLO **47**
5.5 - O RESERVATÓRIO **51**

6 - MATERIAIS E MÉTODOS **53**
6.1 - TRABALHO DE CAMPO **53**
6.2 - ANÁLISES NO LABORATÓRIO **58**
6.3 - TIPOS DE ANÁLISES DOS DADOS REALIZADAS **60**
6.3.1 - Análises sedimentométricas **60**
6.3.1.1 - A variabilidade da concentração de sedimentos em suspensão entre as verticais de uma seção 60
6.3.1.2 - A representatividade da determinação da concentração de sedimentos em suspensão na seção a partir de uma única amostra colhida às margens (Sólidos em suspensão) 60
6.3.2 - Análises sedimentológicas **61**
6.3.2.1 - As curvas-chave de sedimento (suspensão e total) 61
6.3.2.2 - A aplicação do estudo realizado pela CAESB em 1989 62
6.3.2.3 - Aplicação das curvas-chave de sedimentos em suspensão 62
6.3.3 - A avaliação do assoreamento do Reservatório do Descoberto **64**

7 - RESULTADOS E DISCUSSÕES **66**
7.1 - VARIABILIDADE DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO ENTRE AS VERTICAIS DE UMA SEÇÃO **66**
7.1.1 - Ribeirão Capão Comprido **66**
7.1.2 - Ribeirão Chapadinha **69**
7.1.3 - Rio Descoberto – montante barragem **70**
7.1.4 - Ribeirão das Pedras **72**
7.1.5 - Rio Descoberto – montante Melchior **73**
7.1.6 - Rio Descoberto – Sete curvas **75**
7.2 - A REPRESENTATIVIDADE DA DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO MÉDIA DA SEÇÃO A PARTIR DE UMA ÚNICA AMOSTRA COLETADA NA MARGEM **77**
7.3 - AS CURVAS-CHAVE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO **80**
7.4 - O ESTUDO REALIZADO PELA CAESB EM 1989 ..... **86**

7.5 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A APLICAÇÃO DAS CURVAS-CHAVE DE SEDIMENTOS 88
7.6 - AVALIAÇÃO DO ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO DO DESCOBERTO 98

8 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 106

REFERÊNCIAS BIBLOGRÁFICAS 108

REFERÊNCIAS BIBLOGRÁFICAS EM APUD 114

APÊNDICES 115

APENDICE A – ISOVALORES DE CONCENTRAÇÃO, DE VELOCIDADE E DE TURBIDEZ 116

APENDICE B – RESUMO DE MEDIÇÃO DE DESCARGA SÓLIDA 121

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Volumes de amostras necessários para análise de concentração de sedimentos em suspensão (Carvalho, 1994). 14
Tabela 3.2 – Tipo de operação de reservatório (Carvalho *et. al*, 2000b). 22
Tabela 3.3 – Constantes W e K para cálculo do peso específico aparente em função do tipo de operação do reservatório (Carvalho, 1994) e (Coiado, 2001a)..... 23
Tabela 5.1 – Características físicas da bacia com relação á cada estação fluviométrica (Barnez, 2004 - modificado)..... 48
Tabela 7.1– Relação das curvas-chave em suspensão e total e seus respectivos R^2 e os limites de aplicação. 85
Tabela 7.2– Médias históricas mensais para o período 1995 a 2005 89
Tabela 7.3– Valores médios para vazão e descarga sólida em suspensão e deflúvios médios (líquido e sólido) para as estações..... 89
Tabela 7.4– Resumo com as características das sub-bacias e seus resultados hidrológicos e sedimentológicos médios..... 91
Tabela 7.5 – Parâmetros utilizados para a análise dos valores do fluxo sólido em suspensão específico (Carvalho *et al,* 2000a)..... 94
Tabela 7.6 – Valores da Taxa de variação do transporte de sedimentos no período (Ec) e a taxa de variação do transporte de sedimentos anual (R)..... 97
Tabela 7.7 – Cálculo dos valores para as sub-bacia que não possuem dados 99
Tabela 7.8 – Resumo dos dados de entrada para cálculo do assoreamento no reservatório e dados de saída para cálculo manual simplificado..... 100
Tabela 7.9 – Resumo dos resultados gerados pelo programa *Sediment* para o cálculo do assoreamento do reservatório do Descoberto. 101
Tabela 7.10 – Comparativo das curvas cota x volume dos trabalhos realizados (CAESB/Magna, 2002). 102
Tabela 7.11 – Resultados da aplicação dos dados de vazão obtidos no linígrafo, em intervalos de 15 min, à curva-chave de sedimento..... 104

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Distribuições de concentração na vertical para materiais de tamanhos variados que podem ser encontradas num curso d'água (Carvalho, 1994). 6
Figura 3.2 – Diagrama da distribuição da velocidade, concentração de sedimentos e descarga sólida nos cursos d'água (Carvalho, 1994). 6
Figura 3.3 – Amostrador US-DH-48. 8
Figura 3.4 – Amostrador US-DH-59. 9
Figura 3.5 – Coletor instantâneo de amostra d'água (Carvalho *et al*., 2000a). 10
Figura 3.6 – Zonas de amostragem, medida e não medida, numa vertical de amostragem do sedimento em suspensão (Guy e Norman, 1970, *apud* Santos *et al.*, 2001, modificado). 11
Figura 3.7 – Exemplo de amostragem pelo método do Igual Incremento de Largura (Carvalho *et al*., 2000). 12
Figura 3.8 – Cadinho de Gooch (Carvalho, 1994). 14
Figura 3.9 – Esquema de formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios com indicação dos principais problemas decorrentes (Carvalho, 1994). 20
Figura 3.10 – Curvas de eficiência de retenção de sedimentos em reservatórios, segundo Brune (Carvalho *et al*., 2000b). 22
Figura 4.1 – Amostrador programável 6700 FR - ISCO (Coiado, 2001a). 28
Figura 4.2 – Amostrador de nível ascendente automático ANA (Paiva *et al*., 2001). 28
Figura 4.3 – Amostrador US-U-59 (Lobo *et al*., 1999). 29
Figura 5.1 – Localização da bacia do Descoberto (Silva, 2003b). 37
Figura 5.2 – Distrito Federal , estradas, rodovias e as bacias hidrográficas, destacando-se a bacia do Descoberto, contendo a sua rede hidrográfica e principais sub-bacias (Silva, 2003b). 38
Figura 5.3 – Relevo da bacia do Descoberto (Silva, 2003b). 39
Figura 5.4 – Declividades da bacia do Descoberto. 40
Figura 5.5 – Classificação climática de Köppen segundo Atlas do Distrito Federal (CODEPLAN, 1984). 43
Figura 5.6 – Classificação de solos na área da bacia do Descoberto (Silva, 2003b). 45
Figura 5.7 – Classificação das texturas dos solos na área da bacia do Descoberto (Silva, 2003b). 46

Figura 5.8 – Imagem de satélite: região nordeste da bacia do Descoberto e reservatório (*Google Earth*, 2006 – Escala desconhecida)..... 49
Figura 5.9 – Usos do solo na área das sub-bacias tributárias do reservatório do Descoberto em 1994 (IEMA/SEMATEC, 1994). 50
Figura 6.1 – Localização das estações fluviométricas monitoradas..... 54
Figura 6.2 – Pluviograma da estação do Descoberto contendo alturas diárias de precipitações para o período monitorado e as datas das campanhas realizadas. 55
Figura 6.3 – Algumas das etapas de medição de vazão seguida da coleta de amostras de sedimentos em suspensão realizados a vau: 1 – Instalação da trena na seção; 2 – medição da profundidade das verticais; 3 – medição da velocidade nas verticais; 4 – coleta de amostra utilizando o amostrador US-DH-59. 56
Figura 6.4 – Algumas das etapas da coleta de amostras de sedimentos em suspensão realizados a vau: 1 – Instalação da trena na seção; 2 – instalação do guincho no teleférico; 3 – medição da profundidade nas verticais; 4 – coleta de amostras..... 57
Figura 6.5 – Algumas das etapas de medição de vazão seguida da coleta de amostras de sedimentos em suspensão realizados a barco: 1 – transporte do barco até a estação; 2 – instalação da trena na seção; 3 – medição da velocidade nas verticais; 4 – coleta de amostras de água para análise sedimentológica..... 58
Figura 6.6 – Etapas das análises de amostras em laboratório:..... 59
Figura 7.1 – Gráficos para a análise do comportamento da seção do Capão Comprido: 1 – Imagem de satélite mostrando em destaque a morfologia do rio nas proximidades da estação fluviométrica e o sentido do fluxo; 2 – perfil da seção transversal do rio na estação fluviométrica..... 67
Figura 7.2 – Gráficos para a análise do comportamento da seção Capão Comprido: 1 – Variação da concentração média ao longo da seção; 2 – relação entre as concentrações médias nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) e entre as velocidade médias nas verticais (V) e a velocidade média na seção (Vm); 3 – relação entre as concentrações nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) por campanha realizada; 4 – relação entre as velocidades nas verticais (V) e a velocidade média da seção (Vm) por campanha realizada. 67

Figura 7.3 – Gráficos para a análise do comportamento da seção do ribeirão Chapadinha: 1 – Imagem de satélite mostrando em destaque a morfologia do rio nas proximidades da estação fluviométrica e o sentido do fluxo; 2 – perfil da seção transversal do rio na estação fluviométrica. 69
Figura 7.4 – Gráficos para a análise do comportamento da seção ribeirão Chapadinha: 1 – Variação da concentração média ao longo da seção; 2 – relação entre as concentrações médias nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) e entre as velocidade médias nas verticais (V) e a velocidade média na seção (Vm); 3 – relação entre as concentrações nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) por campanha realizada; 4 – relação entre as velocidades nas verticais (V) e a velocidade média da seção (Vm) por campanha realizada. 70
Figura 7.5 – Gráficos para a análise do comportamento da seção do Descoberto – Montante barragem: 1 – Imagem de satélite mostrando em destaque a morfologia do rio nas proximidades da estação fluviométrica e o sentido do fluxo; 2 – perfil da seção transversal do rio na estação fluviométrica..... 71
Figura 7.6 – Gráficos para a análise do comportamento da seção rio Descoberto – montante barragem: 1 – Variação da concentração média ao longo da seção; 2 – relação entre as concentrações médias nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) e entre as velocidade médias nas verticais (V) e a velocidade média na seção (Vm); 3 – relação entre as concentrações nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) por campanha realizada; 4 – relação entre as velocidades nas verticais (V) e a velocidade média da seção (Vm) por campanha realizada. 71
Figura 7.7 – Gráficos para a análise do comportamento da seção do ribeirão das Pedras: 1 – Imagem de satélite mostrando em destaque a morfologia do rio nas proximidades da estação fluviométrica e o sentido do fluxo; 2 – perfil da seção transversal do rio na estação fluviométrica. 72
Figura 7.8 – Gráficos para a análise do comportamento da seção ribeirão das Pedras: 1 – Variação da concentração média ao longo da seção; 2 – relação entre as concentrações médias nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) e entre as velocidade médias nas verticais (V) e a velocidade média na seção (Vm); 3 – relação entre as concentrações nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) por campanha realizada; 4 – relação

entre as velocidades nas verticais (V) e a velocidade média da seção (Vm) por campanha realizada. 73
Figura 7.9 – Gráficos para a análise do comportamento da seção do rio Descoberto – Montante Melchior: 1 – Imagem de satélite mostrando em destaque a morfologia do rio nas proximidades da estação fluviométrica e o sentido do fluxo; 2 – perfil da seção transversal do rio na estação fluviométrica..... 74
Figura 7.10 – Gráficos para a análise do comportamento da seção rio Descoberto – Montante melchior: 1 – Variação da concentração média ao longo da seção; 2 – relação entre as concentrações médias nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) e entre as velocidade médias nas verticais (V) e a velocidade média na seção (Vm); 3 – relação entre as concentrações nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) por campanha realizada; 4 – relação entre as velocidades nas verticais (V) e a velocidade média da seção (Vm) por campanha realizada. 74
Figura 7.11 – Gráficos para a análise do comportamento da seção do rio Descoberto – Sete curvas: 1 – Imagem de satélite mostrando em destaque a morfologia do rio nas proximidades da estação fluviométrica e o sentido do fluxo; 2 – perfil da seção transversal do rio na estação fluviométrica. 76
Figura 7.12 – Gráficos para a análise do comportamento da seção rio Descoberto – Sete curvas: 1 – Variação da concentração média ao longo da seção: 2 – relação entre as concentrações médias nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) e entre as velocidade médias nas verticais (V) e a velocidade média na seção (Vm); 3 – relação entre as concentrações nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) por campanha realizada; 4 – relação entre as velocidades nas verticais (V) e a velocidade média da seção (Vm) por campanha realizada. 76
Figura 7.13 – Gráficos de barras para as seções representando as relações entre as concentrações das amostras únicas coletadas às margens – S.S. e a concentração média obtida pelo método do IIL – Igual Incremento de Largura..... 77
Figura 7.14 – Relação entre as concentrações de sedimentos em suspensão nas amostras únicas coletadas às margens – S.S. e a concentração de sedimentos em suspensão média obtida pelo método do IIL – Igual Incremento de Largura..... 79

Figura 7.15 – Curvas-chave de sedimentos em suspensão nas estações: Capão Comprido, ribeirão Chapadinha, rio Descoberto- montante barragem, ribeirão das Pedras, rio Descoberto – Montante Melchior e rio Descoberto – Sete curvas. 80
Figura 7.16 – Curvas-chave da descarga sólida total nas estações: Capão Comprido, ribeirão Chapadinha, rio Descoberto- montante barragem, ribeirão das Pedras, rio Descoberto – Montante Melchior e rio Descoberto – Sete curvas. 81
Figura 7.17 – Curvas de permanência de vazões para as estações: Capão Comprido, ribeirão Chapadinha, rio Descoberto- montante barragem, ribeirão das Pedras, rio Descoberto – Montante Melchior e rio Descoberto – Sete curvas. 82
Figura 7.18 – Curva-chave de sedimentos em suspensão do ribeirão Rodeador, levantada pela CNEC-1989. 86
Figura 7.19 – Comparação entre as curvas-chave de sedimentos obtidas nos levantamentos de 1989 e de 2005 para as seções do ribeirão das Pedras e rio Descoberto – montante barragem. 87
Figura 7.20 – Voçoroca na Ceilândia em 2000, na bacia do descoberto e sob-bacia do ribeirão das Pedras (Lima, 2003). 88
Figura 7.21 – Valores médios mensais da descarga sólida em suspensão e da vazão nas seções: Capão Comprido, ribeirão Chapadinha, rio Descoberto- montante barragem, ribeirão das Pedras, rio Descoberto – Montante Melchior e rio Descoberto – Sete curvas. 90
Figura 7.22 – Localização das sub-bacias a montante do reservatório e a representação para a concentração média de sedimentos obtidas nas estações estudadas. 92
Figura 7.23 – Leito do rio Melchior, vista do talude da margem (Projeto Descoberto, 2006). 95
Figura 7.24– Variação do deflúvio sólido anual em suspensão nas seções: Capão Comprido, ribeirão Chapadinha, rio Descoberto- montante barragem, ribeirão das Pedras, rio Descoberto – Montante Melchior e rio Descoberto – Sete curvas. 96
Figura 7.25 – Curvas de massa para as seções: Capão Comprido, ribeirão Chapadinha, rio Descoberto- montante barragem e ribeirão das Pedras. 98

Figura 7.26 – Aplicação da relação capacidade do reservatório/volume afluente anual na curva de Brune para obtenção da eficiência de retenção. 100

Figura A. 1– Isovalores de concentração (mg/L) para a seção da estação do ribeirão Chapadinha. 116
Figura A. 2 – Isovalores de velocidade (m/s) para a seção da estação do ribeirão Chapadinha. 116
Figura A. 3 – Isovalores de turbidez (u.t) para a seção da estação do ribeirão Chapadinha. 117
Figura A. 4 – Isovalores de concentração (mg/L) para a seção da estação do ribeirão das Pedras. 117
Figura A. 5 – Isovalores de velocidade (m/s) para a seção da estação do ribeirão das Pedras..... 117
Figura A. 6 – Isovalores de turbidez (u.t) para a seção da estação do ribeirão das Pedras..... 117
Figura A. 7 – Isovalores de concentração (mg/L) para a seção da estação do rio Descoberto – Montante Melchior. 118
Figura A. 8 – Isovalores de velocidade (m/s) para a seção da estação do Descoberto – Montante Melchior. 118
Figura A. 9 – Isovalores de turbidez (u.t) para a seção da estação do rio Descoberto – Montante Melchior. 118
Figura A. 10 – Isovalores de concentração (mg/L) para a seção da estação do rio Descoberto – Sete curvas..... 118
Figura A. 11 – Isovalores de velocidade (m/s) para a seção da estação do rio Descoberto – Sete curvas..... 119
Figura A. 12 – Isovalores de turbidez (u.t.) para a seção da estação do rio Descoberto – Sete curvas. 119

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIAÇÕES

ADCP	- *Acoustic Doppler Current Profiler*
ADV	- *Acoustic Doppler Velocimeter*
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elátrica
CAESB	- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CNEC	- Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S.A
CODEPLAN	- Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central
CT-HIDRO	- Fundo Setorial de Recursos Hídricos
DF	- Distrito Federal
DNAEE	- Departamento Nacional de Energia Elétrica
DGPS	- Differential Global Positioning System
ETR	- Equal Transit Rate
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENC	- Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
FINATEC	- Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos
FINEP	- Financiadora de Estudos e Projetos
FNDCT	- Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
IEMA	- Instituto de Ecologia e Meio-Ambiente do DF
MUSLE	- Equação Universal de Perdas de Solo Modificada
PTARH	- Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
SEMATEC	- Secretaria do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia do DF
SICAD	- Sistema Cartográfico do Distrito Federal
UnB	- Universidade de Brasília
USLE	- Equação Universal de Perdas de Solo
USBR	- United States Bureau of reclamation
USGS	- United States Geological Survey
US-DH	- United States Depth Hand sampler
ºC	- Graus Celsius
%	- Percentagem
’’	- Polegadas
º ’ ’’	- Graus, minutos e segundos

A	- Área
C	- Concentração de sedimentos em suspensão no volume elementar espacial.
ci	- Concentração média nesse segmento.
C_{mv}	- Concentração média na vertical
CSS	- Concentração de sedimentos em suspensão
DSS	- Descarga de sedimentos em suspensão
dA	- Área elementar
g	- Grama
km^2	- Quilometro quadrado
L	- Litro
m	- Metro
m^3	- Metro cúbico
mg	- Miligrama
mm	- Milímetro
ppm	- Parte por milhão
Q	- Descarga líquida
$Q_{1,5}$	- Vazão efetiva ou vazão de “calha cheia”
q_i	- Descarga líquida por unidade de largura;
q_{ss}	- Descarga em suspensão por unidade de largura
Q_{ss}	- Descarga sólida em suspensão instantânea através da seção de área **A**;
S	- Sul
U	- Velocidade das partículas de sedimento através da área elementar **dA**
W	- Oeste
V_m	- Velocidade média
V_t	- Velocidade de trânsito

1 - INTRODUÇÃO

As grandes quantidades de sedimentos transportadas pelos cursos de água, provenientes da ação erosiva da água sobre o solo da bacia, provocam a degradação dos corpos d'água e prejuízos significativos à população, ao desenvolvimento sócio-econômico e ao meio-ambiente.

Os processos de produção e deposição de sedimentos ao longo de uma bacia são fenômenos naturais, mas que têm seus efeitos potencializados pela influência do homem, por meio de desmatamentos desordenados, construções, mineração e atividades agrícolas sem critérios conservacionistas (Siviero e Coiado, 1999).

Durante as várias fases desse processo têm-se prejuízos ambientais, desde a erosão do solo ocorrida na fase da produção de sedimentos, o comprometimento da qualidade da água observado na fase de transporte, além do assoreamento de rios (que levam à ocorrência de enchentes), e assoreamento de reservatórios (levando á redução de sua vida útil), ocorridos na fase de sedimentação (Andrade *et al.,* 2001, Paiva, 2001a, Araújo *et al.,* 2003 e Oliveira e Baptista, 1997).

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

A bacia do rio Descoberto é uma das principais fontes de abastecimento público de água para Brasília e as cidades-satélites do Distrito Federal, contribuindo para o abastecimento de 70% da população do Distrito Federal. No entanto, a expansão demográfica da capital do país e o crescimento das áreas urbanas das cidades-satélite têm levado a uma aceleração no processo de degradação das bacias de drenagem.

A problemática dessa bacia existe em decorrência da ocupação intensiva e diversificada do solo e a falta de planejamento, que leva ao surgimento de parcelamentos, assentamentos, loteamentos, condomínios, invasões, além da prática de agricultura, pecuária e

extrativismo mineral (terra, areia e brita) sem que as medidas necessárias sejam tomadas para a manutenção da preservação do solo.

O assoreamento ocorrido no reservatório do rio Descoberto desde sua ativação, constatado a partir de levantamento batimétrico realizado no ano de 2002, demonstra o efeito de toda essa atividade antrópica aliada às peculiaridades naturais, relacionadas ao clima e às características geológicas e geomorfológicas da região.

O estudo hidrossedimentológico proposto visa conhecer as características do fluxo de sedimentos em suspensão transportados em alguns rios previamente selecionados, que compõem a bacia do rio Descoberto, por meio do monitoramento das descargas em seções que se encontram em estações fluviométricas já existentes ao longo da bacia, algumas delas a montante e outras a jusante do reservatório.

Devido aos altos custos operacionais normalmente associados à realização de monitoramentos sedimentométricos, existe a necessidade de avaliar possibilidades que tornem esse monitoramento mais simples, o que poderia ser feito reduzindo o número de amostras a serem coletadas sem redução significativa da precisão do estudo.

Esta pesquisa busca fornecer resultados que sejam úteis como apoio à decisão no planejamento do uso dos recursos hídricos, no planejamento do uso do solo e no estudo da vida útil de obras hídricas, favorecendo a uma melhor conservação dos cursos de água da bacia e do reservatório do rio Descoberto.

2 - OBJETIVOS

O objetivo desta dissertação é levantar informações que ampliem o conhecimento sobre o transporte de sedimentos na bacia do rio Descoberto por meio da realização de estudos hidrossedimentométricos e hidrossedimentológicos.

Como subsídio a essa análise será necessário atender aos seguintes objetivos específicos:

1º) Realização de análises sedimentométricas:

- Avaliar o comportamento hidrossedimentométrico das seções transversais nas estações monitoradas;

-Avaliar possibilidades de utilização de metodologias mais simples, rápidas e baratas de monitoramento hidrossedimentométrico em pequenas bacias hidrográficas;

2º) Realização de análises sedimentológicas:

-Realizar a estimativa das descargas sólidas médias em suspensão nas sub-bacias monitoradas;

-Avaliar o comportamento hidrossedimentológico das sub-bacias hidrográficas localizadas a montante e a jusante do reservatório do Descoberto;

3º) Realização de análises sobre o assoreamento ocorrido no reservatório do Descoberto:

- Realizar a estimativa do assoreamento do reservatório do Descoberto;

-Comparar a estimativa de assoreamento do reservatório do descoberto ao levantamento topobatimétrico realizado pela Magna Engenharia e CAESB em 2002.

3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 - A DINÂMICA DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

O transporte de sedimentos é um fenômeno natural e faz parte da evolução da paisagem, originando as formas geomorfológicas, pois desde seus primórdios, a Terra tem sido modelada, entre outros fatores, pelos processos de erosão natural e a deposição de sedimentos. Porém, as atividades humanas interferem profundamente nos processos erosivos, podendo elevar em até 100 vezes os processos erosivos naturais (do que seria considerado em tempos geológicos), o que pode acontecer tanto devido a práticas agrícolas ou a obras de engenharia (Araújo *et al*., 2003 e Simões e Coiado, 2001).

A água, em sua trajetória pela bacia hidrográfica, flui sobre vertentes e calhas da rede de drenagem e, ao percorrer os obstáculos, o fluxo define os seus caminhos e sua velocidade, dissipando parte de sua energia, o que resulta também na desagregação de componentes desse substrato sob a forma de partículas sólidas, que são removidas e transportadas rio abaixo (Bordas e Semmelmann, 1993).

Os rios são os grandes receptores e transportadores dos sedimentos provenientes da erosão dos solos enquanto que os oceanos são os grandes receptores finais. Em prazo geológico, há a formação de ilhas nos estuários e deltas, assim como o aterramento de vastas áreas próximas ao mar, que passam a fazer parte do continente (Carvalho e Cunha, 1997).

A mudança na quantidade de descarga sólida provoca respostas do rio conforme as alterações impostas e a capacidade de transporte do escoamento do trecho, pois o aumento da carga sólida provocará um aumento na tendência de formações de depósitos no leito do rio, fenômeno conhecido como “agradação”. Ao contrário, o rio com pequena descarga de sólidos tende a uma maior “degradação” de seu leito (Bordas e Semmelmann, 1993 e Carvalho, 1994).

3.2 - GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS

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

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

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

A partícula em suspensão está sujeita à ação da velocidade da corrente na horizontal e da turbulência, que tendem mantê-la em suspensão, e de seu peso, que tende a deslocá-la para baixo. Portanto, as partículas maiores têm uma distribuição de concentração na vertical que cresce da superfície para o leito, enquanto que os sedimentos finos apresentam uma distribuição uniforme ao longo da vertical, como mostra a Figura 3.1 (Santos *et al*., 2001 e Carvalho, 1994).

A distribuição dos sedimentos ao longo da seção transversal é variável em função da velocidade de corrente, considerando que as velocidades são menores perto das margens, além da disponibilidade de sedimentos e sua granulometria, de acordo com o que ilustra a Figura 3.2 (*Subcommitee on Sedimentation*, 1963, *apud* Carvalho, 1994, Santos *et al.*, 2001 e Carvalho *et al*, 2000a).

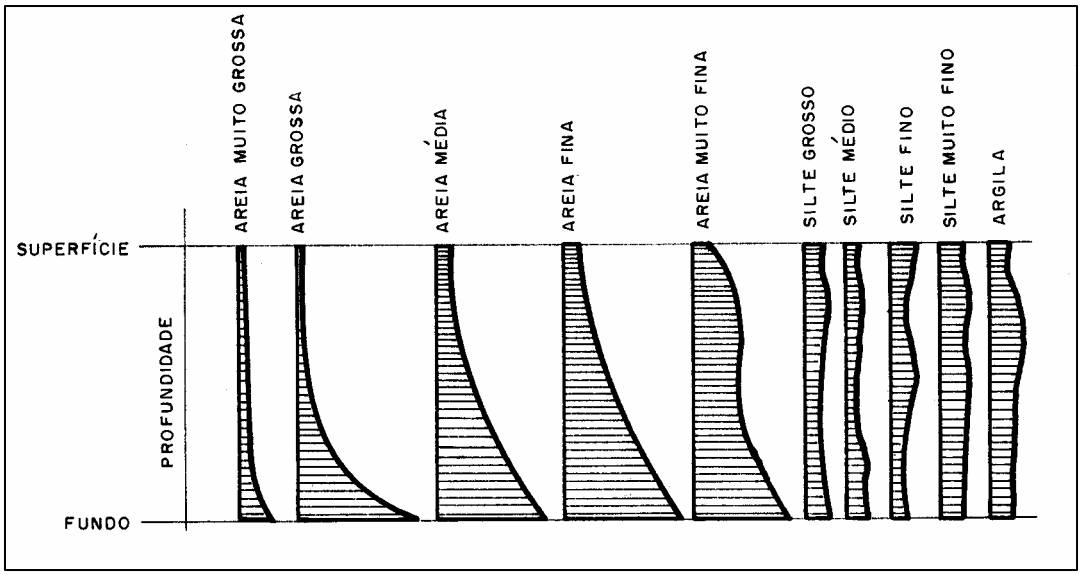

Figura 3.1 – Distribuições de concentração na vertical para materiais de tamanhos variados que podem ser encontradas num curso d'água (Carvalho, 1994).

As interferências antrópicas impostas pela ocupação das bacias hidrográficas podem acarretar alterações nos perfis granulométricos dos sedimentos (Wilson Júnior, 1997).

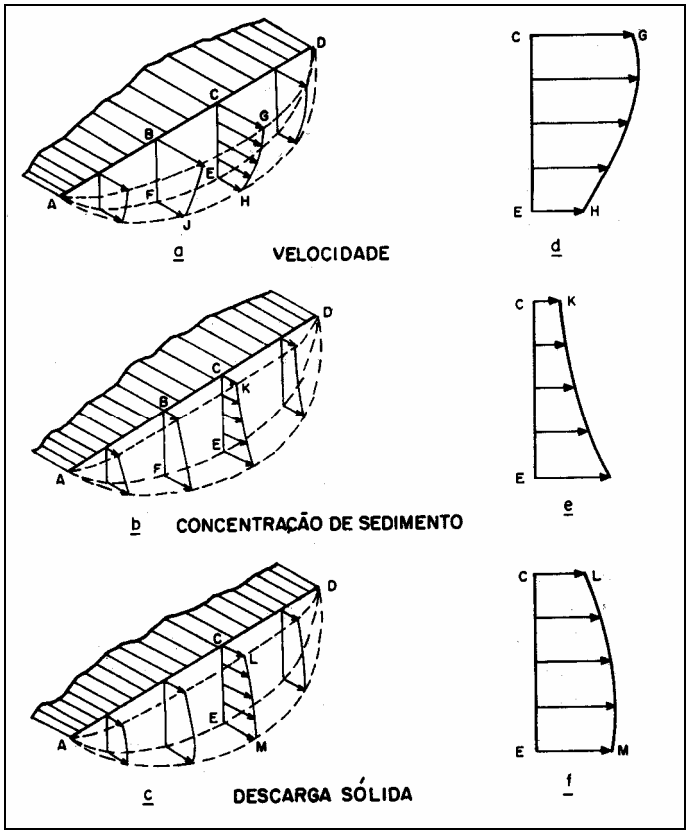

Figura 3.2 – Diagrama da distribuição da velocidade, concentração de sedimentos e descarga sólida nos cursos d'água (Carvalho, 1994).

3.3 - O LEVANTAMENTO SEDIMENTOMÉTRICO

A descarga sólida total transportada pelos cursos d'água pode ser determinada por diferentes métodos, sendo eles: através de dados medidos nos rios, através da estimativa da erosão por modelos de perda de solo, a partir de levantamentos topo-batimétricos de reservatório ou através da regionalização dos dados (Coiado, 2001 e Carvalho, 1994).

A maneira mais precisa para se conhecer a descarga sólida transportada pelos rios é por meio de medições periódicas, pois apesar da grande quantidade de equações empíricas existentes na literatura para o cálculo da descarga sólida, essas não apresentam resultados confiáveis devido ao grande número de parâmetros envolvidos no processo (Coiado, 2001).

3.3.1 - Amostradores – amostragem manual

Existem variados tipos de amostradores que se adequam às características do transporte de sedimentos em suspensão e ao tipo de medição, sendo que a maioria desses é feita com equipamento do tipo norte-americano, fabricado no Brasil (Carvalho, 1994).

Segundo Coiado (2001a), a escolha do equipamento deve considerar os seguintes critérios:

- O aparelho não deve perturbar o escoamento, permitindo que a coleta da amostra seja realizada na mesma velocidade do escoamento para que a amostra coletada seja representativa;
- O aparelho deve ser hidrodinâmico e pesado, para evitar o desvio do aparelho.

O amostrador US-DH-48 ou AMS-1, de acordo com a denominação nacional (Figura 3.3), é integrador na vertical para coletas de amostras em suspensão para profundidades de até 1,5m, sendo calibrado para um bico de ¼". Quando comparado a outros da mesma categoria é considerado um equipamento leve, sendo feito de alumínio em forma hidrodinâmica que usa uma garrafa presa por mola e seu conjunto pesa cerca de 3 kg, podendo ser operado a vau, de canoa ou de ponte de pequena altura em rios rasos, (Carvalho, 1994, Carvalho *et al*., 2000a e Santos *et al*., 2001).

O amostrador US-DH-59 ou AMS-3 (Figura 3.4) é integrador na vertical para coletas de amostras em suspensão para profundidades de até 4,5m, sendo fabricado em bronze, possui formato hidrodinâmico e pode ser operado a vau ou com guincho instalado em teleférico ou em canoa. (Carvalho, 1994, Carvalho *et al*., 2000 e Santos *et al*., 2001).

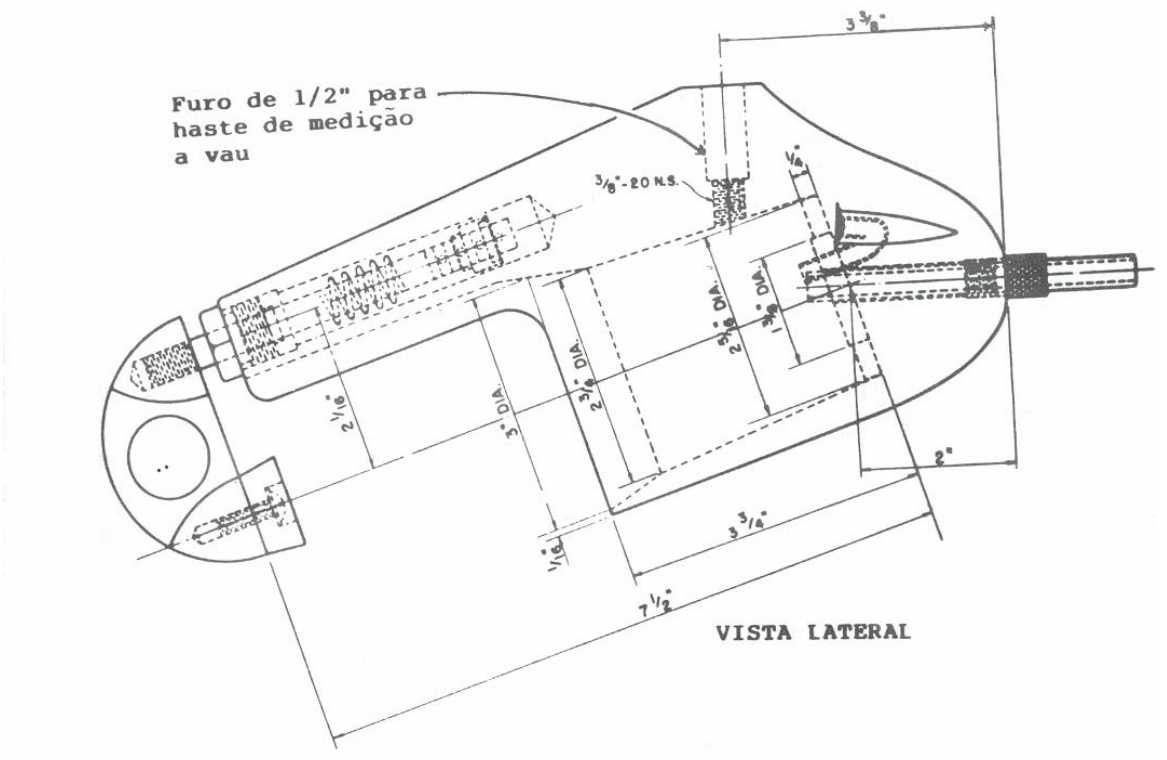

Figura 3.3 – Amostrador US-DH-48.

A característica chave no projeto do amostrador integrador na vertical é que o fluxo é amostrado à sua velocidade ambiente e, ao percorrer da superfície ao fundo e depois retornar, a uma velocidade constante, é realizada uma integração mecânica não tendenciosa do produto entre a velocidade do curso d'água e a concentração de sedimento. Essas características fazem da amostragem por integração na vertical um processo confiável, obtendo amostras representativas com relação a sua concentração e composição (Hicks e Duncan, 1997, Einstein, 1964, Schindl *et al*., 2005 e Linsley *et al.,* 1988).

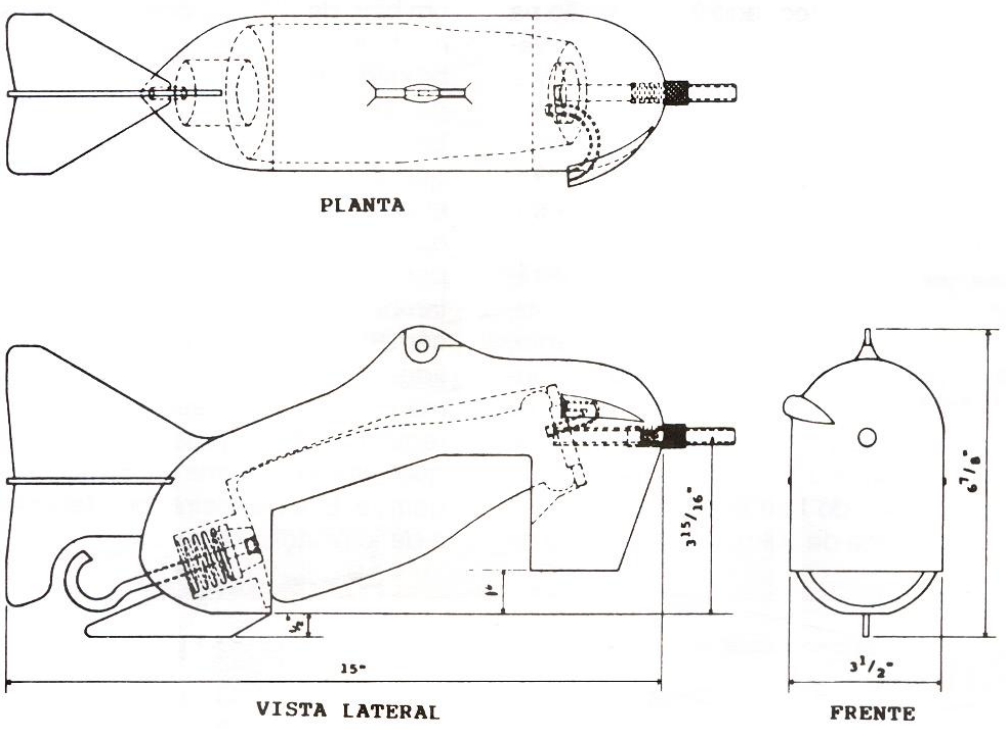

Figura 3.4 – Amostrador US-DH-59.

3.3.2 - Amostragem de sedimentos em suspensão

A finalidade da amostragem é definir a tipologia e a concentração do material transportado no momento da medição, de forma a se obter amostras representativas na seção transversal do curso d'água (Santos *et al*., 2001).

Existem várias técnicas de amostragem em hidrossedimentometria utilizadas de acordo com os objetivos e a disponibilidade de tempo e recursos para a realização do trabalho. As variações relacionadas às técnicas existentes se referem à escolha das seções e das verticais a serem amostradas, ao(s) equipamento(s) utilizado(s) e à forma em que as coletas são realizadas. Entre os vários métodos encontrados na literatura, são descritos neste trabalho, os mais comumente utilizados e com obtenção de bons resultados. Os amostradores de fundo não foram descritos porque não foram utilizados neste trabalho.

Os métodos de amostragem com relação ao tempo de coleta da amostra podem ser pontuais ou por integração na vertical. A amostragem pontual pode ser instantânea, com duração de pouquíssimos segundos, ou por integração, com duração em torno de 10 segundos. A

amostragem por integração na vertical ou em profundidade é efetuada em um tempo de 10 segundos ou mais, sendo feita em dois sentidos (ascendente ou descendente) ou em um só sentido (Carvalho, 1994, Carvalho *et al*., 2000a e Santos *et al.,* 2001).

O amostrador instantâneo de qualidade da água (Figura 3.5) é mergulhado com as válvulas laterais abertas até a profundidade desejada, quando um peso mensageiro é liberado, acionando o fechamento do equipamento (Carvalho, 1994 e Carvalho *et al*., 2000a).

Figura 3.5 – Coletor instantâneo de amostra d'água (Carvalho *et al*., 2000a).

Santos *et al.* (2001) apresentam as seguintes recomendações com relação à aplicação do método de amostragem por integração na vertical (Figura 3.6):

- A garrafa não deve ficar completamente cheia, pois dessa forma consegue-se garantir que todo o percurso foi amostrado;
- Os amostradores não devem alcançar o leito para não apanharem sedimentos de arrasto, recomenda-se, portanto que atinjam profundidades de até 15cm acima do fundo;

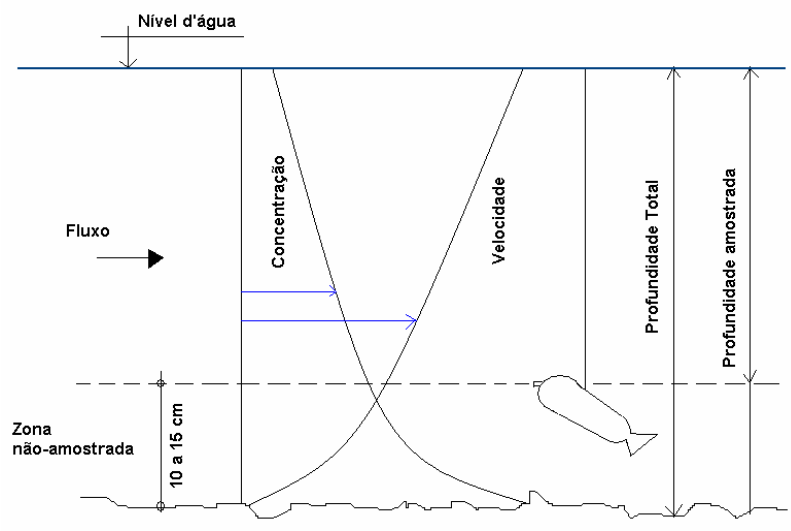

Figura 3.6 – Zonas de amostragem, medida e não medida, numa vertical de amostragem do sedimento em suspensão (Guy e Norman, 1970, *apud* Santos *et al.*, 2001, modificado).

Os amostradores por integração na vertical são usados com bicos calibrados, que são geralmente removíveis para substituição e são fabricados especificamente para cada tipo de equipamento. Segundo estudos em laboratório, as velocidades de trânsito a serem aplicadas aos amostradores devem seguir a indicação das razões entre a velocidade de trânsito e a velocidade média da corrente na vertical, de acordo com o bico utilizado (Equações 3.2 e 3.3). Tal medida é necessária para assegurar que o equipamento irá descer e subir na posição adequada, onde o bico recebe a amostra na posição horizontal, evitando a entrada irregular de amostra.

De acordo com Carvalho (1994), Carvalho *et al*., (2000) e Santos *et al*. (2001), os bicos devem ter a sua eficiência hidráulica verificada periodicamente, medindo-se a velocidade do fluxo e o tempo de volume amostrado. A eficiência hidráulica deve ser próxima de 0,95 para um bom desempenho do equipamento:

$$\textit{Eficiência Hidráulica} = v_n / v" \tag{3.1}$$

sendo

v_n – velocidade do fluxo do rio no ponto de amostragem (m/s);

v – velocidade de entrada de água no bico (m/s).

A velocidade de trânsito do amostrador pode ser calculada usando-se a seguinte fórmula:

$$Vt/Vm = 0,2 \text{ para o bico de 1/8”} \quad (3.2)$$

$$Vt/Vm = 0,4 \text{ para os bicos de 3/16” e ¼”} \quad (3.3)$$

sendo

Vt – velocidade de trânsito uniforme (m/s);

Vm – velocidade média da corrente (m/s).

3.3.2.1 - Método de amostragem – escolha das verticais

No método de amostragem por igual incremento de largura (Figura 3.7) a seção transversal é dividida numa série de segmentos de igual largura, para obtenção de uma série de subamostras. Em seguida procura-se, entre as verticais escolhidas, a vertical de maior produto velocidade x profundidade, de onde obtém-se a primeira amostra e realiza-se o cálculo do tempo mínimo de amostragem. As outras subamostras são coletadas à mesma velocidade de trânsito, portanto serão compostas por volumes diferentes, e poderão ser reunidas numa só, composta em laboratório, para uma só análise (Carvalho, 1994, Carvalho *et al*., 2000a e Santos *et al*., 2001).

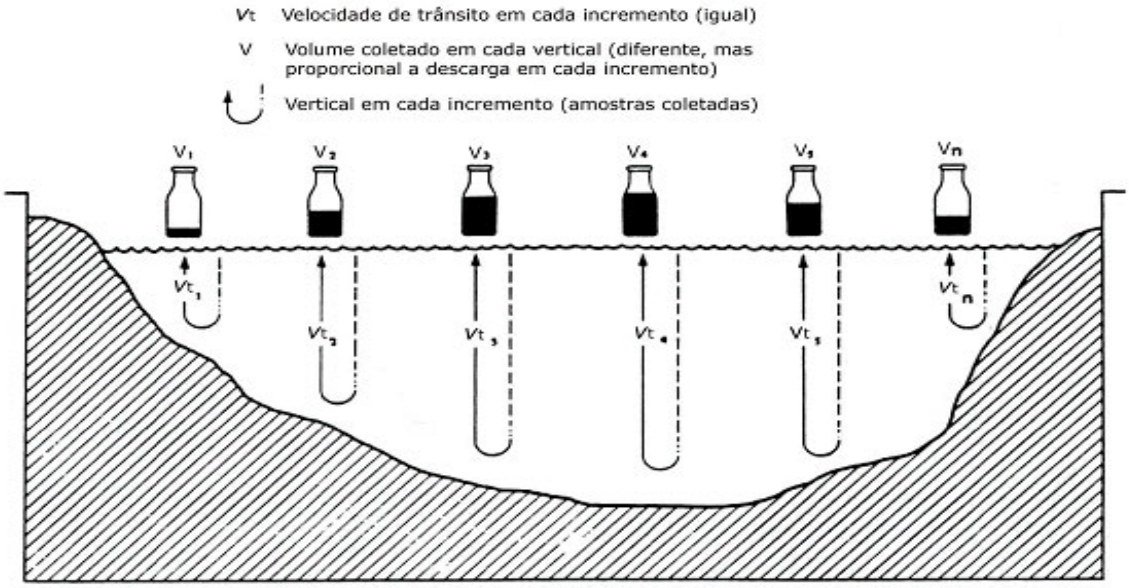

Figura 3.7 – Exemplo de amostragem pelo método do Igual Incremento de Largura (Carvalho *et al*., 2000).

O número de verticais recomendado para amostragem no método equivale à metade do número de verticais utilizadas para medição de vazão (Carvalho *et al*., 2000a), mas observa-se que na prática essa escolha irá variar de acordo com a seção, pois no caso de

rios de pequeno porte a escolha pode não seguir essa recomendação, não sendo viável a utilização de tantas verticais na amostragem. Em rios com fortes declividades, a quantidade de amostras necessárias também pode ser menor, pois o sedimento em suspensão é provavelmente bem misturado e as amostras coletadas às margens podem ser consideradas representativas para a seção transversal (Old *et al,* 2003).

Henkleim e Coiado (1999) realizaram um estudo em que foram analisadas possibilidades de redução do número de amostras a serem coletadas sem diminuir a qualidade dos dados obtidos. A partir desse estudo foi observado que a vertical mais representativa da seção se encontra na vertical do talvegue e que o ponto de amostragem está a 80% de sua profundidade.

3.3.3 - Análises de laboratório

A escolha do método é feita em função da análise a se realizar, da quantidade de sedimentos presentes na amostra e da qualidade dos sedimentos. O método da filtração é o mais indicado para amostras com baixas concentrações e o método da evaporação é preferido para altas concentrações ou quando o teor de argila na amostra for grande, dificultando a filtração. Caso o objetivo seja realizar somente a análise de concentração, deve-se optar pelo método de evaporação ou de filtração. Se a análise granulométrica também for efetuada, deve optar-se pelo método do tubo de retirada pelo fundo (Carvalho, 1994).

O método da filtração é o mais adequado para análises de amostra de baixas concentrações, é de operação simples e precisão considerável (Carvalho, 1994) e é o mais comumente utilizado para análise de concentração, como observado em Paiva *et al.* (2001), Rodrigues-Jr *et al.* (1997), Honda e Ochiai (1997), Araújo *et al.* (2003), Bronsdon e Naden (2000), Davide *et al*. (2003) e Araújo *et al.* (2003).

Segundo Carvalho (1994), as quantidades de sedimentos nas amostras coletadas devem ser suficientes para permitir a análise adequada para uma correta determinação da descarga sólida, pois amostras em suspensão com quantidades muito pequenas de sedimentos tendem a aumentar os erros causados na pesagem. Os volumes de amostras a serem coletados variam de acordo com a concentração esperada, como mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Volumes de amostras necessários para análise de concentração de sedimentos em suspensão (Carvalho, 1994).

Concentração esperada de sedimento em suspensão (g/m^3, mg/L, ppm)	**Volume da amostra (Litros)**
> 100	1
50 a 100	2
20 a 30	5
< 20	10

Para a aplicação do método da filtração, o primeiro procedimento a ser tomado é a determinação do volume de amostra contida na garrafa com a utilização de uma pipeta volumétrica, em seguida o material é filtrado em cadinhos denominados de cadinhos de Gooch, como mostrado na Figura 3.8**.**

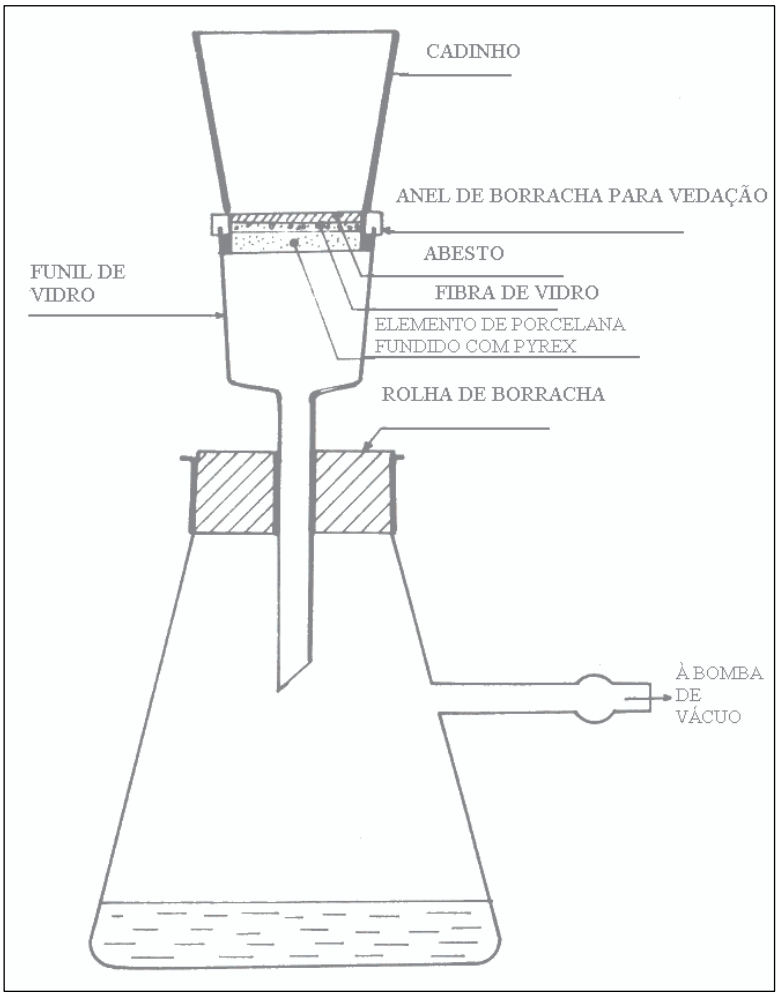

Figura 3.8 – Cadinho de Gooch (Carvalho, 1994).

O resíduo da filtragem é levado à estufa, onde permanece cerca de uma hora a uma temperatura em torno de 100°C, depois o material é transferido da estufa para dessecadores a vácuo até atingir a temperatura ambiente, para em seguida, serem pesados em balança analítica. A concentração é determinada pelo peso seco do sedimento em suspensão contido na amostra em relação ao volume total (Carvalho, 1994 e Carvalho *et al*., 2000a).

$$C_s = \frac{p}{V} \tag{3.4}$$

Sendo

p – peso seco do sedimento

V – volume da mistura água-sedimento

3.3.4 - Cálculo da descarga sólida em suspensão (DSS)

A descarga sólida em suspensão pode ser calculada pelo produto da concentração média de sedimentos em suspensão pela vazão medida no momento da amostragem (Santos *et al*., 2001).

A descarga em suspensão representa, na maioria dos casos, a maior parte da descarga sólida total, podendo chegar a 95% de toda a descarga sólida e é variável de acordo com o curso d'água e posição da seção, sendo função da velocidade, tipo de escoamento, profundidade, granulometria e outros fatores (Carvalho, 1994 e Carvalho *et al.,* 2000a).

Devido à variação espacial das concentrações de sedimentos em suspensão ao longo da seção transversal, a descarga sólida em suspensão, num certo instante, deve ser determinada pela seguinte equação:

$$Q_{ss} = \int_A C.U.dA \tag{3.5}$$

sendo

Q_{ss} – descarga sólida em suspensão instantânea através da seção de área A;

U – velocidade das partículas de sedimento através da área elementar dA, na prática considerada igual a velocidade da corrente;

C – concentração de sedimentos em suspensão no volume elementar.

Pode-se calcular a descarga sólida em suspensão por amostragens em diversas verticais. Após a análise de cada uma das amostras das diversas verticais de uma seção transversal, estima-se a descarga sólida em suspensão pela seguinte equação:

$$Q_{ss} = \sum_{i=1}^{i} q_{ss} = 0{,}0864.\sum_{i=1}^{i} q_i.c_{mv} \tag{3.6}$$

sendo

q_{ss} – descarga em suspensão no segmento (t/dia);

c_{mv} – concentração média na vertical (mg/L ou ppm);

Q_{ss} – descarga sólida em suspensão (t/dia);

0,0864 – fator de transformação de unidades.

O cálculo da descarga sólida em suspensão para amostragens pontuais é feito com o uso da seguinte equação:

$$q_{ssp} = 0{,}0864.c.v.\Delta p.l \tag{3.7}$$

sendo

q_{ssp} – descarga sólida em suspensão parcial na posição de influência no ponto de amostragem (t/dia);

c – concentração de sedimento no ponto (mg/L ou ppm);

v – velocidade da corrente no ponto de amostragem (m s^{-1});

Δp – profundidade (ou altura) de influência do ponto considerado, que vai da metade da distância ao ponto superior até a metade da distância do ponto seguinte inferior medido; os pontos extremos serão considerados até a superfície e até o fundo (m);

l – largura parcial de influência (ou segmento de largura), indo até a metade de cada posição de verticais de medições pontuais; as verticais extremas serão consideradas até a margem (m);

0,0864 – fator de transformação de unidades.

A concentração média na seção é calculada como:

$$C_{ms} = \frac{\sum 0{,}0864.c.v.\Delta p.l}{0{,}0864\sum v.\Delta p.l} \tag{3.8}$$

sendo

C_{ms} – concentração média na seção (mg/L ou ppm);

Para os casos de amostragens utilizando-se os métodos de igual incremento de largura ou por igual incremento de descarga faz-se necessário apenas uma única análise de sedimentos a partir da amostra composta. O valor da concentração utilizado no cálculo corresponde ao seu valor médio na seção, em que a descarga sólida em suspensão é calculada pela equação:

$$Q_{ss} = 0{,}0864.Q.C \tag{3.9}$$

sendo

Q – vazão (m^3/s);

C – concentração (mg/L ou ppm);

Q_{ss} – descarga sólida em suspensão (t/dia);

0,0864 – fator de transformação de unidades.

3.3.5 - Cálculo da descarga sólida total

A determinação da descarga sólida total é necessária para vários estudos sedimentológicos, entre eles a avaliação do assoreamento do reservatório, e é feita a partir de valores obtidos em medições para a carga amostrada em suspensão e de material do leito.

Os processos de cálculo mais comumente utilizados são o método modificado de Einstein, que exige amostragens do sedimento em suspensão e do leito, e o método simplificado de Colby, que exige somente amostragens de sedimento em suspensão para efetuar o cálculo da descarga total de sedimentos, e é considerado menos confiável que método modificado de Einstein (Carvalho, 1994 e Carvalho *et al.,* 2000b).

O método simplificado de Colby usa basicamente três ábacos e dados de descarga líquida, velocidade média, profundidade média, largura da seção e concentração medida de sedimentos em suspensão. Os ábacos foram obtidos de um desenvolvimento semi-empírico, baseados em experiências sobre diversos processos de cálculos de descarga sólida, principalmente no método modificado de Einstein e medições em diversos rios (Carvalho*,* 1994).

A descarga total é calculada pelas seguintes expressões (Carvalho, 1994):

$$Q_{st} = Q_{sm} + Q_{nm} \tag{3.10}$$

$$Q_{sm} = 0{,}0864 \times Q \times C'_S \tag{3.11}$$

$$Q_{nm} = q_{nm} \times K \times L \tag{3.12}$$

sendo

Q_{st} – descarga sólida total (t/dia);

Q_{sm} – descarga sólida medida (t/dia);

Q_{nm} – descarga sólida não-medida (t/dia);

q_{nm} – descarga sólida parcial não –medida (t/dia/m);

C'_s – concentração medida (mg/L ou ppm);

L – largura do rio (m);

K – fator de correção.

Para que os resultados do método de Colby possam ser aproveitados é recomendado se ter alguns valores de Q_{st} calculados por um método mais confiável como o método modificado de Einstein, possibilitando a determinação de uma correlação que permita a correção dos valores calculados só pelo método de Colby simplificado.

O método modificado de Einstein foi desenvolvido em 1955 por B.R. Colby e por C.H. Hembree e é o resultado de vários anos de pesquisas no campo, conduzidas em conjunto pelo USBR e o USGS em rios aluvionares largos e rasos. Entre os métodos disponíveis atualmente é o que possui maior precisão para o cálculo do transporte sólido obtido para diversas granulometrias. Esse trabalho, como o próprio título indica, é uma modificação do *The bed-load function for sediment transportation in open channel flows*, de Hans Albert Einstein, publicado pelo "*Soil Conservation Service*" em 1950.

Andrade *et al.* (2001) realizaram uma estimativa da produção de sedimentos nos quatro principais rios do estado do Maranhão, a fim de identificar áreas críticas de degradação e estimar a sua evolução. Para isso foi utilizado o método de Colby para o cálculo da descarga sólida total de cada medição, método que o autor considerou vantajoso por sua simplicidade. Foi utilizado o software de Furnas Centrais Elétricas para o cálculo do transporte de sedimentos em rios – versão 0 (1996).

3.3.6 - Curva-chave de sedimentos (CCS)

A curva-chave de sedimentos relaciona valores de descarga sólida a valores de vazão. A curva será tanto mais representativa quanto maior o número de pontos medidos e maior variação de vazão alcançada entre os valores mínimos e máximos. Um mesmo posto com grande quantidade de dados pode apresentar curvas distintas, uma para o período de estiagem e outra para o período de chuvas (Carvalho, 1994, Einstein, 1964 e Linsley *et al*., 1988).

Entre os métodos mais utilizados para o traçado da curva e a obtenção da equação estão o método do traçado visual e o método da regressão linear e a relação mais comum é a curva-chave de sedimentos em forma de potência (Picouet *et al*., 2001 e Carvalho, 1994). Para evitar as superestimativas das concentrações a altas vazões, o que pode levar a erros significativos nos cálculos da carga anual e da descarga efetiva, Simon *et al*. (2003) sugerem o ajuste de um segundo segmento linear para as vazões mais altas.

É importante que se faça uma análise gráfica preliminar antes do tratamento matemático, verificando se os pontos permitem o traçado de mais de uma curva, se os pontos cobrem o período de estiagem e cheias e se na parte alta da curva há número adequado de pontos para representar os valores máximos (Carvalho, 1994).

3.4 - ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS

O assoreamento de um reservatório devido à deposição de sedimentos transportados pelos seus afluentes é um processo inevitável, pois uma barragem em um curso d'água altera as características hidráulicas do fluxo levando ao aumento da área molhada e a conseqüente diminuição da velocidade média do fluxo, o que o torna ineficiente como meio de transporte de sedimentos. As partículas, portanto tendem a assentarem-se no fundo dos reservatórios, formando depósitos (Coiado, 2001a e Gottschalk, 1964).

À medida que o assoreamento aumenta, a capacidade de armazenamento do reservatório diminui, o que leva a redução de sua vida útil. Os depósitos de remanso, formados no início do reservatório, criam problemas de enchentes a montante. Os sedimentos que chegam à barragem e passam pelos vertedouros e condutos, provocam abrasão e desgaste

nas estruturas e tubulações. O fluxo efluente do reservatório possui potencial de degradação mais elevado e irá iniciar a mobilização de materiais no canal em busca de restabelecer o seu equilíbrio natural (Carvalho, 1994; Coiado, 2001 e Gottschalk, 1964). O esquema de formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios com indicação dos principais problemas decorrentes é ilustrado na Figura 3.9.

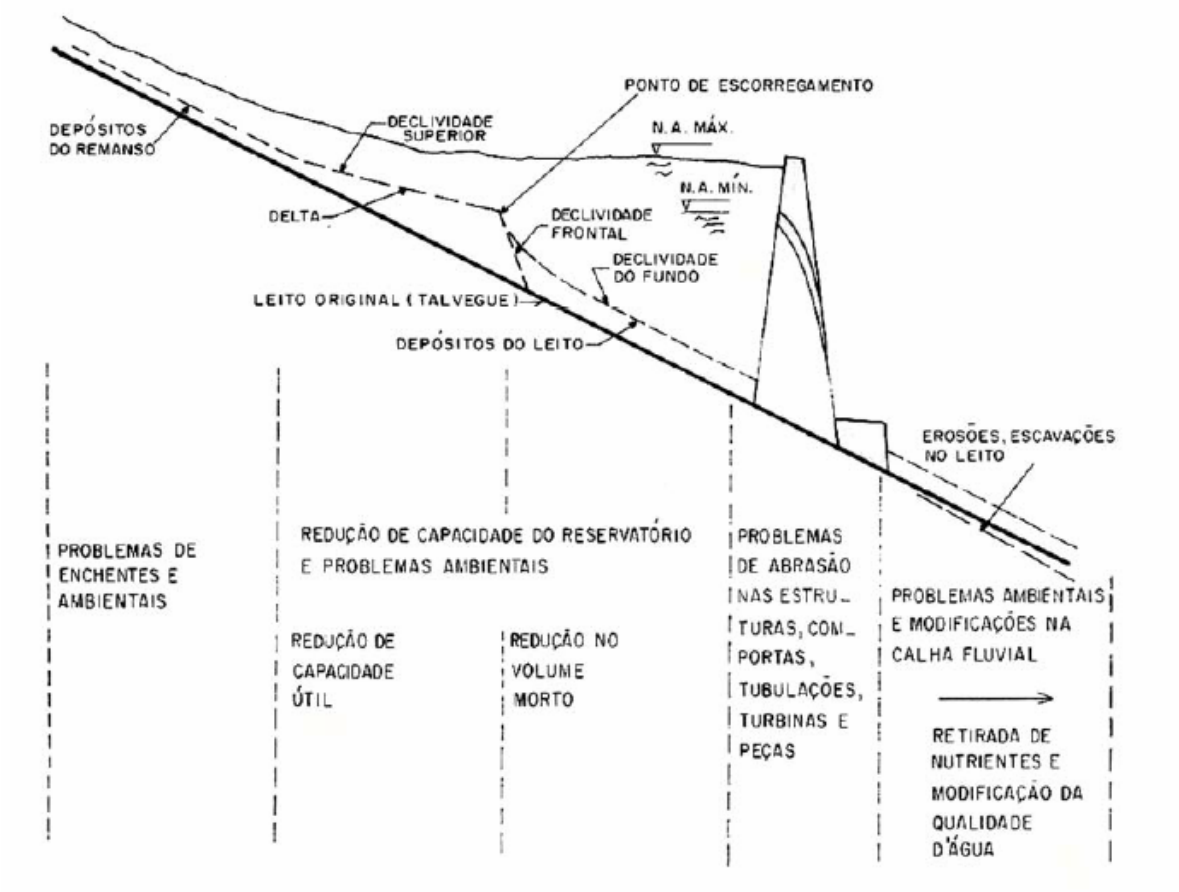

Figura 3.9 – Esquema de formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios com indicação dos principais problemas decorrentes (Carvalho, 1994).

O sedimento formado por partículas mais grossas sofre deposição assim que o fluxo atinge a área do reservatório, onde a capacidade de transporte do fluxo é bruscamente reduzida. As argilas e os colóides se mantêm em suspensão por distâncias maiores dentro do reservatório (Carvalho, 1994 e Gottschalk, 1964).

3.4.1 - Previsão de assoreamento em reservatórios

Carvalho (1994) considera a avaliação do assoreamento de um reservatório uma das aplicações mais tradicionais de um estudo sedimentológico. Para se estimar o volume do

reservatório ocupado pelos sedimentos, são necessárias as seguintes informações básicas, segundo Coiado (2001b):

- Descarga sólida que entra no reservatório;
- Eficiência de retenção do reservatório;
- Distribuição dos depósitos de sedimentos em toda a extensão do reservatório;
- Peso específico dos sedimentos depositados.

3.4.1.1 - Eficiência de retenção

Uma parcela dos sedimentos que são trazidos ao reservatório é retida e outra é levada pela vazão efluente. A habilidade de um reservatório em reter os sedimentos é conhecida como eficiência de retenção (Coiado, 2001b e Gottschalk, 1964).

Para grandes reservatórios, com capacidade superior a 12 milhões de m^3, a eficiência de retenção pode ser considerada de 100%. Em pequenos reservatórios os materiais sólidos mais finos não têm tempo suficiente para sedimentação e deixam o reservatório com o fluxo efluente (Coiado, 2001b).

O valor da eficiência de retenção pode ser obtido a partir de medições sedimentométricas realizadas a montante e a jusante da barragem ou pode ser estimada a partir de relações entre a eficiência de retenção e outros parâmetros que estejam relacionados, que foram determinadas empiricamente por vários pesquisadores, como Brune e Churchill, a partir da análise do comportamento de reservatórios americanos (Coiado, 2001b).

A curva de Brune é utilizada para reservatórios médios ou grandes, e para pequenos adota-se a curva de Churchill (Carvalho *et al*., 2000b).

Brune definiu empiricamente uma curva mediana e duas envoltórias que relacionam a eficiência de retenção com a capacidade de afluência, (Figura 3.10), a partir de análises realizadas em operações de descarga de três reservatórios, sendo que a capacidade de afluência corresponde ao volume do reservatório dividido pelo deflúvio médio anual afluente (Carvalho, 1994, Coiado, 2001a e Carvalho *et al*., 2000b).

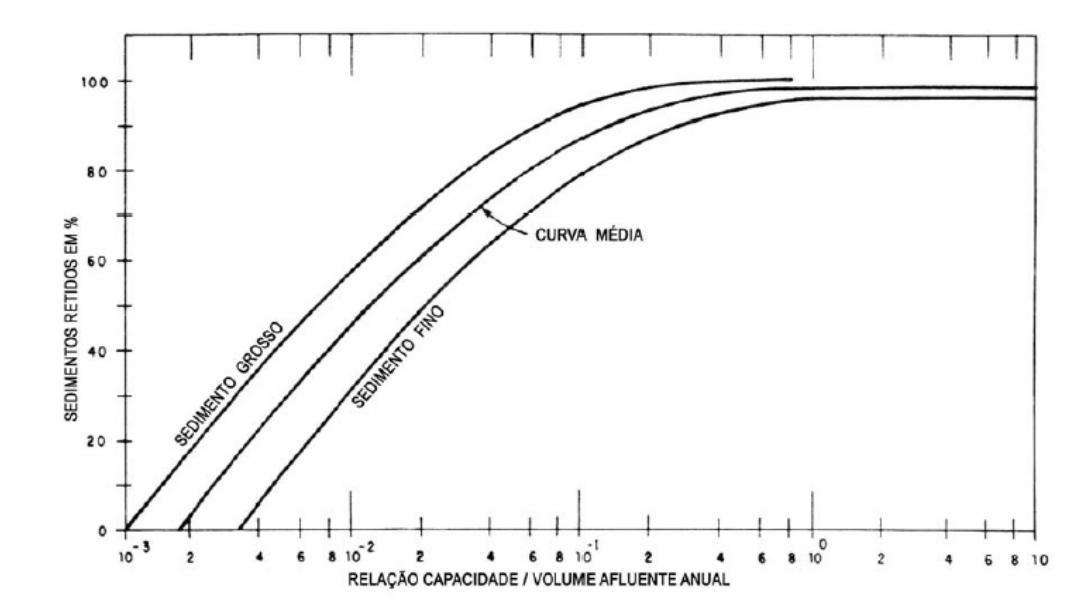

Figura 3.10 – Curvas de eficiência de retenção de sedimentos em reservatórios, segundo Brune (Carvalho *et al*., 2000b).

3.4.1.2 - Peso específico dos depósitos de sedimento

A determinação do peso específico dos depósitos é necessária para a transformação da descarga sólida retida em volume sedimentado e pode ser calculado segundo o tipo de operação do reservatório (Tabela 3.2), o grau de compactação dos sedimentos e da granulometria (Carvalho, 1994 e Coiado, 2001a).

Tabela 3.2 – Tipo de operação de reservatório (Carvalho *et. al*, 2000b).

Tipo	**Operação do reservatório**
1	Sedimento sempre ou quase sempre submerso
2	Depleção do reservatório de pequena a média
3	Reservatório de significativas variações de nível
4	Reservatório normalmente vazio

O peso específico do depósito é diferente do peso específico das partículas que o compõem devido aos vazios existentes entre as partículas sedimentadas, além do processo de compactação sofrido pelas camadas sedimentadas (Coiado, 2001a).

Para o cálculo do peso específico aparente é necessária a obtenção das porcentagens médias de argila, silte e areia, contidas nos sedimentos em suspensão e do leito, bem como

as porcentagens da descarga sólida em suspensão média e descarga sólida média do leito, e é efetuado pelas equações a seguir (Carvalho, 1994 e Carvalho *et al*., 2000b):

$$\gamma_i = W_c.P_c + W_m.P_m + W_s.P_s \tag{3.13}$$

$$\gamma_T = \gamma_i + K.\log T \tag{3.14}$$

$$\gamma_T = \gamma_i + 0{,}4343.K\left[\frac{T}{T-1}(\ln T) - 1\right] \tag{3.15}$$

$$K = K_c.P_c + K_m.P_m + K_s.P_s \tag{3.16}$$

sendo

γ_i – peso específico aparente inicial (t/m^3);

W_c , W_m , W_s – coeficientes de compactação de argila, silte e areia, respectivamente, obtidos segundo o tipo de operação do reservatório (Tabela 3.3);

P_c, P_m, P_s – frações de quantidades de argila, silte e areia, contidas no sedimento afluente;

γ_T – peso específico aparente médio em T anos (t/m^3);

T – tempo de compactação do sedimento depositado (anos);

K – constante que depende da granulometria do sedimento e obtida com base no tipo de operação do reservatório (Tabela 3.3);

ln – logaritmo neperiano.

Tabela 3.3 – Constantes W e K para cálculo do peso específico aparente em função do tipo de operação do reservatório (Carvalho, 1994) e (Coiado, 2001a).

Operação do reservatório	**Argila**		**Silte**		**Areia**	
	Wc	**Kc**	**Wm**	**Km**	**Ws**	**Ks**
Sedimentos sempre submersos ou quase sempre	0,416	0,2563	1,121	0,0913	1,554	0,0
Normalmente submersos com moderada variação de nível	0,561	0,1346	1,137	0,0288	1,554	0,0
Normalmente submersos com consideráveis variações de nível	0,641	0,0	1,153	0,0	1,554	0,0
Reservatório normalmente vazio	0,961	0,0	1,169	0,0	1,554	0,0

Uma avaliação mais simplificada dos volumes e tempos de assoreamento pode ser feita utilizado-se as equações 3.17 e 3.18 (Carvalho *et al*., 2000b). Para análises mais detalhadas que caracterizem o assoreamento são necessários outros estudos.

$$S = \frac{D_{ST} x E_r}{\gamma_{ap}} \tag{3.17}$$

$$T = \frac{Q_{ST}}{S} \tag{3.18}$$

sendo

S – volume retido no reservatório (t/m^3);

D_{ST} – deflúvio sólido total médio anual afluente ao reservatório (t/ano);

E_r – eficiência de retenção do sedimento afluente ao reservatório (% e fração);

γ_{ap} – peso específico aparente médio dos depósitos (t/m3);

Q_{ST} – descarga sólida total média afluente ao reservatório (t/dia);

T – tempo de assoreamento de um determinado volume (anos);

V – volume do reservatório, total ou volume morto (m^3).

4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Encontra-se na literatura uma grande quantidade de trabalhos nacionais e internacionais relacionados a levantamentos sedimentométricos, monitoramentos e estudos sedimentológicos de bacias específicas, em que são discutidos, entre outros assuntos, a freqüência e períodos de amostragens, metodologias de amostragens e de análises em laboratório, a eficiência dos equipamentos nos trabalhos de amostragens e nos resultados e a elaboração e aplicação das curvas-chave de sedimentos para determinação da descarga sólida em suspensão.

Uma grande quantidade de estudos relata a importância da realização de amostragens durante a ocorrência de eventos, pois a maior parte do transporte de sedimentos (de 70 a 90%) acontece na época chuvosa, obtendo-se uma melhor representatividade da amostragem e otimizando os trabalhos, como descrito nos trabalhos de Paiva *et al.* (2001), Rodrigues-Jr *et al.* (1997), Paranhos e Paiva (2003); Martins e Coiado (1999), Ramos *et al.* (1991), Bronsdon e Naden (2000), Lenzi e Marchi (2000), Smith *et al.* (2004), Jansson (1995), Pavanelli e Pagliarani (2002), Sun *et al.* (2001) e Old *et al.* (2003), Picouet *et al*. (2001).

Picouet *et al*. (2001) consideram que 90 % da carga de sedimento é transportada em uma pequena parcela de duração do evento (5%) e aproximadamente 80 – 90% da carga anual de sedimento em suspensão é transportada durante 25% do período anual de cheias. Yang *et al*., (2002) relatam que a descarga sólida média que é transportada durante cheias do rio Yangtze, chega a ser 93% do total.

De acordo com Honda e Ochiai (1997), a separação dos hidrogramas de escoamento direto do escoamento de base é uma prática comumente adotada quando a coleta é realizada predominantemente nas cheias, a fim de determinar-se a degradação física específica predominante na bacia, pois o escoamento superficial rápido é o responsável direto pelo processo erosivo mecânico, e não o escoamento total, muitas vezes utilizado. Esse procedimento também foi adotado por Rodrigues Júnior *et al.* (1997), que realizaram um estudo detalhado sobre os sedimentos em suspensão e sua dinâmica, na bacia do rio Piracicaba, com o objetivo de estimar a erosão mecânica efetiva para o período de 1992-1996, onde o fluxo total de sedimento fino em suspensão relacionado ao escoamento

superficial rápido representou 76,5% da carga total transportada pelo rio, evidenciando a importância da componente superficial rápida para a estimativa da erosão.

Smith *et al.* (2003) e Chen *et al.* (2000) também deram ênfase em seus estudos, sobre as diferenças entre as características do transporte de sedimentos nos períodos de cheia e seca. Chen *et al.* (2000), em sua análise histórica da variabilidade da vazão e descarga de sedimento na bacia de drenagem no rio Yangtze, encontraram boas correlações entre a vazão e a descarga de sólidos em suspensão em todo o rio durante a seca, mas durante as cheias essas correlações eram boas somente nas proximidades das cabeceiras dos cursos d'água, onde havia depósitos de sedimentos a serem transportados nas altas vazões. Entretanto, no médio curso desse rio, as baixas velocidades decorrentes das baixas inclinações não possuem a mesma capacidade de transporte de sedimentos que as velocidades das cabeceiras.

Smith *et al.* (2003) tentaram quantificar o armazenamento temporário de sedimentos em eventos hídricos individuais, dentro dos canais principais de grandes sistemas, buscando conhecer as variações nas dinâmicas de erosão, deposição e armazenamento de sedimentos finos. Essas dinâmicas podem explicar as discrepâncias que podem existir entre a taxa de erosão a montante e as cargas de sedimentos a jusante e as perdas no transporte de sedimentos ao longo do canal. Para isso classificaram 17 eventos de cheia baseando-se nas características detalhadas de 15 minutos de registros contínuos de concentração de sedimento e vazão no canal principal do rio Swale, no Reino Unido.

Old *et al.* (2003) analisaram o impacto das precipitações de verão na vazão e no transporte de sedimento em uma bacia altamente urbanizada e observaram que a CSS continuou alta durante a fase descendente da hidrógrafa, descrevendo assim, comportamento diferente do que é normalmente observado, pois usualmente são as maiores vazões que carregam a maior parte da carga de sedimentos (Sun *et al.*, 2001 e Old *et al.* 2003). A explicação para esse comportamento baseia-se no fato de se tratar de uma bacia intensamente urbanizada, onde há várias fontes de sedimentos secundárias que não são observadas em uma bacia rural, e todo esse material pode ser mobilizado durante uma forte cheia.

4.1 - AMOSTRAGEM

A análise da literatura mostra que a amostragem automática tem sido uma ferramenta bastante requisitada na busca de uma maior eficiência na coleta de amostras para estudos sedimentométricos, permitindo que as coletas sejam realizadas em alguns momentos excepcionais, difíceis de serrem previstos e de curta duração, como a ocorrência de cheias, e cuja amostragem oferece informações essenciais para o estudo.

Existe uma grande variedade de modelos de amostradores automáticos, de diferentes fabricantes e maneiras de funcionamento. Alguns desses amostradores funcionam por bombeamento, em que a sucção da água pode ser previamente programada ou acionada pelo aumento ou redução do nível d'água.

Em alguns trabalhos utilizou-se amostradores automáticos de estágio único ou garrafas de espera, que apesar de serem amostradores automáticos, não funcionam por bombeamento e consistem em uma garrafa com tubos em sifão e são usados em enchentes rápidas e cursos d'água intermitentes, especialmente em locais de difícil acesso (Carvalho, 1994).

Amostradores automáticos foram utilizados em diversos estudos sedimentométricos. Coiado (2001a) considera a coleta de amostras realizada com amostradores convencionais (USDH-48, USDH-59 e USDH-49) inviável quando se planeja coletar amostras num período seqüencial de 24 horas. Por isso ele testou a utilização de um amostrador fixo programável portátil, modelo 6700 FR-ISCO (Figura 4.1), que permite programar a coleta de amostras durante um período seqüencial de 24 horas sem a necessidade da presença de técnicos, e verificou que, para os valores das concentrações obtidas, os dois tipos de coleta chegaram a resultados bastante similares.

Paiva *et al.* (2001) também chegaram a conclusões semelhantes em trabalho realizado durante um período de 8 meses no monitoramento hidrossedimentométrico de uma bacia hidrográfica urbana, quando se coletou amostras durante eventos de cheia usando um amostrador automático de espera ANA (Figura 4.2), e no período de vazões baixas, usando amostrador manual AMS-01. Eles ressaltam a grande utilidade do amostrador automático para a aquisição de informações importantes em locais com dificuldade de coletas

manuais, apesar dos problemas provocados por detritos que interferem no enchimento das garrafas.

Figura 4.1 – Amostrador programável 6700 FR - ISCO (Coiado, 2001a).

Figura 4.2 – Amostrador de nível ascendente automático ANA (Paiva *et al*., 2001).

A amostragem manual para sedimentos durante os eventos chuvosos também foi questionada por Lobo *et al*. (1999), dada a rapidez e horário de ocorrência das cheias e sugere também a instalação de amostrador automático por bombeamento. Apesar de questionarem a eficiência da amostragem realizada por garrafas em espera do tipo US-U-59 (Figura 4.3), devido a problemas de entupimento. Bronsdon e Naden (2000) também questionam a eficiência do amostrador automático. Em seu estudo sobre os sedimentos em suspensão nos rio Tweed e Teviot eles utilizaram um EPIC 1011/1511 e listaram vários problemas apresentados, tais como falhas no ativamento da abertura, proliferação de algas e problemas de amostragem durante o período seco e no inverno.

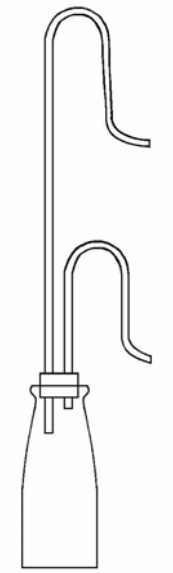

Figura 4.3 – Amostrador US-U-59 (Lobo *et al*., 1999).

Ramos *et al.* (1991) também utilizaram amostragem automática para a caracterização do transporte de sedimentos em cursos de água nas bacias dos rios Tietê e Pinheiros, na região metropolitana de São Paulo, pois tiveram que adequar a técnica utilizada para a coleta de amostras às características da bacia em estudo. No caso das sub-bacias, que apresentam uma resposta muito rápida, a amostragem automática durante o período ascensional da onda de cheia tornou-se uma opção mais interessante. Nos postos dos rios Tietê e Pinheiros, as medições seguiram técnicas convencionais, de amostragem integrada ao longo de verticais, distribuídas na seção de medição.

A utilização de amostradores automáticos também foi observada nos trabalhos de Lenzi e Marchi (2000), sendo que durante as cheias havia coleta manual de amostras utilizando um

amostrador USDH-48 e também no estudo sobre a turbidez e os sedimentos em suspensão realizado por Pavanelli e Pagliarani (2002), realizado na Itália, em que utilizaram o amostrador automático SIGMA, com *data logger,* sistema também utilizado por Sun *et al.* (2001), para acionar o funcionamento do amostrador no monitoramento dos valores de turbidez minuto a minuto, e por Old *et al.* (2003), que usou o amostrador EPIC para amostragens automáticas para medições de turbidez.

Honda e Ochiai (1997) realizaram o estudo do transporte de sedimentos em suspensão na cabeceira do canal principal da bacia hidrográfica do rio Água da Cachoeira-SP. Para realizar o monitoramento, o amostrador automático era acoplado ao linígrafo e programado para iniciar e terminar a amostragem em função da vazão do rio, sendo efetuado a cada evento hídrico.

4.2 - A CURVA-CHAVE DE SEDIMENTOS

Vários fatores devem ser conhecidos e considerados ao aplicar-se o método da curva-chave de sedimentos em estudos sedimentométricos. A curva-chave correlaciona a descarga de sólidos em suspensão unicamente à vazão, mas na realidade esse transporte não depende somente da capacidade do fluxo em transportar os sólidos, mas de outros fatores, tais como a disponibilidade de material mobilizado, que irá depender de eventos anteriores, usos do solo, etc. Além do fenômeno da histerese que pode ser provocado inclusive pela disponibilidade de material, mas também por outros fatores. Portanto, além da grande dispersão normalmente observada nas curvas-chave de sedimento, há ainda a não-estacionaridade da curva, já que esta muda periodicamente para uma seção. Todos esses fatores impõem restrições e precauções quanto à aplicação da curva-chave de sedimentos que devem ser atentamente observadas para que se conheçam as limitações na aplicação do método.

A vantagem da técnica da curva-chave de sedimentos é que uma vez desenvolvida ela pode ser aplicada para dados mais antigos de vazão, recuperando informações de longo prazo sobre o transporte de sedimentos e preenchendo as falhas entre os registros existentes, procedimento esse adotado nos trabalho de Carvalho *et al.* (2005) e Lima *et al*., (2005). Entretanto, um dos maiores inconvenientes da extrapolação da série histórica de transporte de sedimentos é que o requisito estacionaridade é normalmente questionável.

Em alguns trabalhos analisados observa-se que a utilização da curva-chave obteve resultados satisfatórios, entretanto para outros há controvérsias quanto à eficiência e a precisão da curva-chave.

Nordin Jr., (1985) está entre aqueles que consideram que para muitos rios não há uma boa correlação entre a descarga de sedimentos e a vazão, pois alega que a descarga de sedimentos é controlada mais pelo fornecimento de material disponível para ser transportado do que a capacidade do fluxo em transportá-lo. E considera que para a maioria dos rios as cargas de sedimentos não deveriam ser calculadas, mas sim medidas, pois as curvas-chave de sedimentos ou são precariamente definidas ou mudam drasticamente de tempos em tempos.

Paiva *et al.* (2001), em seu trabalho sobre o monitoramento hidrossedimentométrico de uma bacia hidrográfica urbana, não conseguiram determinar a curva-chave de sedimentos, pois a variação da concentração de sedimentos ao longo do tempo apresentou comportamento diferenciado da vazão. A provável explicação para esse fato baseia-se em características específicas de bacias urbanas, pois há uma carga sólida inicial bastante alta, que corresponde possivelmente à carga de lavagem das ruas e, em seguida, essa carga diminui e passa a variar em concordância com a vazão.

Entretanto, Martins e Coiado (1999) ressaltam a boa correlação entre a concentração dos sedimentos em suspensão com a vazão líquida, em seu trabalho que analisou a produção de sedimentos em suspensão e dissolvidos, em uma microbacia rural, através da coleta de dados de vazão, concentração de sedimentos e condutividade elétrica, durante a estação seca e nos eventos hídricos na época chuvosa. A coleta de dados durante a estação seca foi realizada para se avaliar os parâmetros nas condições de vazões mínimas e sem erosão, na época onde o fluxo é alimentado pelo escoamento básico, podendo-se interpretar esses resultados em comparação aos que foram obtidos durante coletas realizadas em função das precipitações.

Pavanelli e Pagliarani (2002) também encontraram boa correlação entre a concentração de sedimentos e a vazão, onde o coeficiente de determinação (r^2) indicou que o modelo ajustado explica 83% da variabilidade no transporte de sedimentos, em uma bacia montanhosa de litologia argilosa e solo impermeável, bastante sujeita a processos erosivos

e problemas de estabilidade de taludes. A análise da regressão linear mostrou que o modelo de potência foi o que melhor se ajustou, mas a relação entre a vazão e a descarga sólida pode ser melhorada ao subdividir-se os dados de acordo com as estações e com as fases ascendentes e descendentes da hidrógrafa.

O transporte de sólidos em suspensão depende da vazão, e a relação entre eles é normalmente positiva. Entretanto, no estudo de Bronsdon e Naden (2000) foram observados casos onde a descarga de sedimentos em suspensão diminuía com o aumento da vazão, sugerindo a depleção do fornecimento de sedimento, e casos em que as descargas eram elevadas durante a ocorrência de vazões baixas devido a fatores como o colapso de margens, a floração de diatomáceas, etc.

Em vários trabalhos que analisam as relações entre a concentração de sedimentos em suspensão e a vazão são discutidos os efeitos da histerese, observada durante os eventos de cheia, como citam Lenzi e Marchi (2000), Jansson (1995), Picouet *et al*. (2001), Wass, *et al*. (1997), Old *et al.* (2003). Não há uma relação única entre a vazão e a concentração de sedimentos, pois para os picos de vazão igualmente altos têm-se diferentes valores de concentração de sedimentos (Jansson, 1995).

A histerese reflete a complexidade das relações entre a vazão e a concentração de sedimentos em suspensão, cuja variabilidade é altamente influenciada também pelas características e localização das fontes ativas de sedimentos, variações no padrão das chuvas em combinação com as diferenças no solo e seu uso, inclinação média da bacia e localização do núcleo da precipitação (Lenzi e Marchi, 2000 e Jansson, 1995). O pico da concentração de sedimentos ocorre normalmente na fase ascendente da hidrógrafa ou no seu pico, entretanto algumas vezes ele pode acontecer na fase descendente da hidrógrafa, portanto, os laços de histerese podem ocorrer em diferentes direções, descrevendo as relações entre a vazão e a concentração de sedimentos em diferentes eventos (Jansson, 1995). Picouet *et al.* (2001) explicam que os laços da histerese são causados, entre outras razões, pela variação da quantidade de material disponível para erosão, pois as curvas-chave são modelos empíricos muitos simples e incapazes de descrever tais variações e assumem a hipótese de que o transporte de sedimentos não depende somente da capacidade do curso d'água de erodir as margens e o leito e de sua capacidade de transporte, mas

também da disponibilidade de sedimentos na bacia, considerando que essa disponibilidade diminui durante a cheia, opinião semelhante também obteve Nordin Jr., (1985).

4.3 - SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO X TURBIDEZ

A utilização da turbidez em estudos sedimentológicos é bastante freqüente na literatura. Sua correlação com a concentração de sedimentos em suspensão consiste em uma forma alternativa de tentar simplificar os trabalhos de campo através da elaboração de uma curva de concentração de sedimentos x turbidez. Mas os trabalhos são bem claros ao explicitar a cautela necessária nessa correlação, que geralmente só é válida para determinada seção em determinado período e que esta deve ser cuidadosamente calibrada antes de ser aplicada.

A turbidez foi uma variável medida em campo no monitoramento sedimentológico da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande realizado por Araújo *et al.* (2003), com vistas à identificação das potenciais zonas críticas de erosão, além de determinar as condições sedimentológicas da bacia.

O método da turbidez é considerado por Pavanelli e Pagliarani (2002) um bom método para determinação da concentração de sedimentos em suspensão, porém observaram que amostras com mesma concentração, mas com composições diferentes não provocam o espalhamento da mesma quantidade de luz registrada no turbidímetro, levando a valores diferentes. O uso da turbidez como um substituto para a concentração de sólidos em suspensão sem que seja realizada uma cuidadosa calibragem pode ser um fator de erro (Pavanelli e Pagliarani, 2002; Lenzi e Marchi, 2000; Sun *et al.*, 2001 e Old *et al.* 2003).

Sun *et al.* (2001) ressaltam que as relações entre a turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão são específicas para um local e tempo e a relação é geralmente única para determinada seção dentro de um período definido de tempo. Os autores destacam também que para baixas concentrações de sedimentos, associadas a pequenas precipitações, a relação apresenta menor variação nos valores da concentração de sedimentos em suspensão, principalmente quando considera-se longos intervalos de tempo. Tal fato compromete a importância da aplicação do método, pois, como mostram os estudos, são as maiores precipitações que carregam a maior parte da carga de sedimentos (Sun *et al.*, 2001 e Old *et al.,* 2003).

Fill e Santos (2001) consideram baixa a precisão da curva-chave de sedimentos e realizaram seus estudos na busca da metodologia que conduzisse a resultados mais precisos e que fossem mais facilmente monitorados. Em seu trabalho, buscaram estabelecer regressões entre transparência (profundidade Sechi) e concentração de sólidos totais para cada bacia ou para grupos de bacias similares, com relação ao transporte de sedimentos. O erro encontrado foi bastante inferior ao erro cometido ao estimar-se a vazão sólida a partir da regressão com a vazão líquida, e concluíram que a metodologia é tecnicamente viável e economicamente atraente, levando a resultados melhores do que a curva-chave de sedimentos.

Smith *et al.* (2003) declaram que alguns registros de medições realizados apresentaram diferenças consideráveis entre as concentrações obtidas por meios automáticos e por amostragem manual, (que foram consideradas mais precisas), e a concentração de sedimento em suspensão obtida a partir da medição da turbidez, (que é considerado menos preciso). Portanto usou-se a relação entre a turbidez durante as cheias e as concentrações de sedimentos em suspensão para calibrar o registro contínuo de turbidez.

Lenzi e Marchi (2000), em seu estudo sobre as relações entre a vazão e a concentração de sedimentos em suspensão em cursos d'água alpinos, também realizaram medições contínuas da turbidez e constataram haver influências das litologias existentes na bacia sobre a turbidez. Foram feitas também observações sobre a relação entre o tamanho das partículas e a turbidez, e observou-se que as partículas maiores não provocam a mesma resposta da turbidez que as partículas mais finas, o que leva geralmente a um erro, pois há um aumento na concentração de sedimentos em suspensão que não é devidamente representada pelo pequeno aumento da turbidez. Isso acontece porque as partículas de areia assentam-se rapidamente antes das medições e o equipamento é muito mais sensível a material fino do que a areia. Outros trabalhos também fazem a mesma observação, tais como Jansson (1995), Pavanelli e Pagliarani (2002), Paranhos e Paiva (2005) e Old *et al.* (2003).

Conclusões semelhantes a essa chegaram Paranhos e Paiva (2005), que realizaram um monitoramento hidro-sedimentológico em uma pequena bacia em Santa Maria (RS), observaram que a relação entre a turbidez e a concentração não é eficiente para valores de turbidez superiores a 527 NTU, pois a turbidez praticamente não varia para grandes

variações de concentração de sedimentos, pois o método da absorção de luz para avaliação da concentração do material em suspensão deve ser aplicado em cursos d'água cujo material em suspensão é predominantemente formado por argila e silte, e não quando há predominância de areia entre o material transportado.

Sun *et al.* (2001) e Old *et al.* (2003) concluíram que a função que melhor se ajusta para expressar a relação entre a turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão é a função polinomial, sendo que é essencial que a amostragem cubra toda a hidrógrafa, incluindo precipitações de variadas magnitude e intensidade, para que se obtenha boa correlação entre os dados.

Wass *et al.* (1997) utilizou sensoriamento remoto para mapear a distribuição espacial da concentração de sedimentos em suspensão e desenvolver uma relação semi-empírica que a relacione com a refletância irradiada. Foi usado um inovador sistema com duplo sensor de turbidez para o monitoramento contínuo da concentração de sedimento em suspensão, que é capaz de atuar de forma precisa sobre um amplo intervalo de valores de turbidez. Amostras eram coletadas automaticamente e filtradas para a determinação da concentração, buscando cobrir todo o intervalo de valores de turbidez. As amostragens manuais também foram realizadas usando variados equipamentos, entre eles os amostradores integradores em profundidade, que forneciam dados para a calibragem dos sensores do turbidímetro. Esses resultados obtidos nas medições foram utilizados para a elaboração de um algoritmo que relacionasse a reflectância irradiada à concentração de sedimento em suspensão.

4.4 - ESTUDOS ANTERIORES

4.4.1 - Estudo sedimentométrico CAESB - 1989

O estudo sedimentométrico realizado pela CAESB em 1989, foi parte integrante dos estudos do Plano Diretor de Águas e Esgotos das Invasões e Núcleos Rurais do Distrito Federal, desenvolvido pelo CNEC – Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S.A. para a Companhia de Água e Esgotos de Brasília – CAESB, de 1989 e contém o resultado da operação da rede sedimentométrica do período de agosto de 1988 a julho de 1989.

A rede foi definida de modo a atender o critério de se monitorar as principais afluências e efluências de sedimentos aos reservatórios do Descoberto e Paranoá, bem como ao futuro reservatório de São Bartolomeu.

A coleta de sedimentos em suspensão para se determinar a concentração total e a granulometria foi feita por meio de amostradores integradores de garrafa, em 5 verticais igualmente espaçadas entre si pelo método denominado de ETR (*Equal Transit Rate* – Igual Velocidade de Trânsito), de acordo com as normas do DNAEE, que equivale ao método denominado atualmente de Igual Incremento de Largura, que possui igual velocidade de trânsito para todas as verticais.

A freqüência da coleta das amostras sedimentométricas realizada foi de 4 visitas estação-mês durante o período chuvoso, de outubro/1988 a janeiro/1989.

Os dados resultantes desse trabalho foram tratados neste trabalho, para obter-se as curvas-chave para as seções e os valores de descarga sólida em suspensão e total, além do deflúvio sólido médio. Estes resultados foram utilizados em análises comparativas entre os dados obtidos no estudo desta pesquisa, buscando observar variações nos índices de produção de sedimentos na bacia do Descoberto para as sub-bacias consideradas, no intervalo de tempo decorrido entre os estudos.

5 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal situa-se no Planalto Central do Brasil, dentro de um quadrilátero de 5.814 km^2, limitado ao norte pelo paralelo 15º30'S, ao sul pelo paralelo 16º03', a leste pelo rio Preto e a oeste pelo rio Descoberto (Figura 5.1).

O posicionamento do DF na região central do Planalto central e sua altitude fazem com que o DF torne-se um dos divisores naturais de águas das 3 principais bacias hidrográficas do Brasil: a bacia do Paraná ou do Prata, a bacia do São Francisco e a bacia do Tocantins (Carmo, 2001).

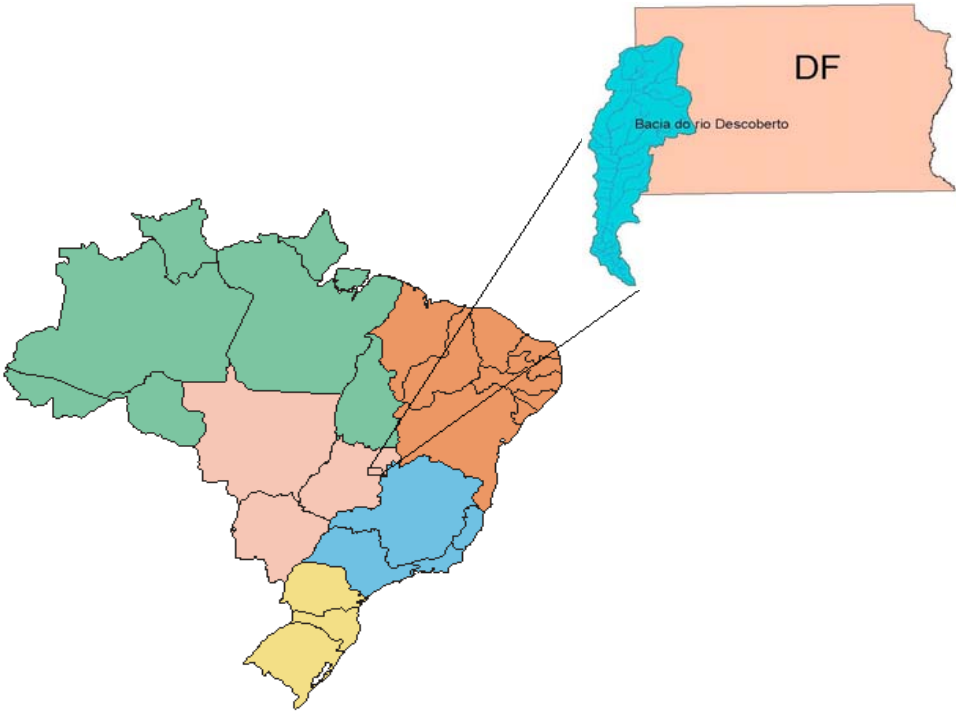

Figura 5.1 – Localização da bacia do Descoberto (Silva, 2003b).

A bacia hidrográfica do rio Descoberto (Figura 5.2) localiza-se na porção ocidental do Distrito Federal, possui uma área de 895,9 km2, o que representa aproximadamente 15,4 % da área total do DF, ou perto de 25 % da bacia do Paraná inserida no DF. A bacia do rio Descoberto limita-se ao norte com a bacia do rio Maranhão, a leste com a bacia do lago Paranoá e a sudeste da bacia do rio Corumbá. Nesta bacia situam-se os núcleos urbanos de Taguatinga, Ceilândia, Brazlândia, parte da cidade de Samambaia e das regiões administrativas do Recanto das Emas e do Gama (Carvalho, 2004 e Ribeiro, 2001).

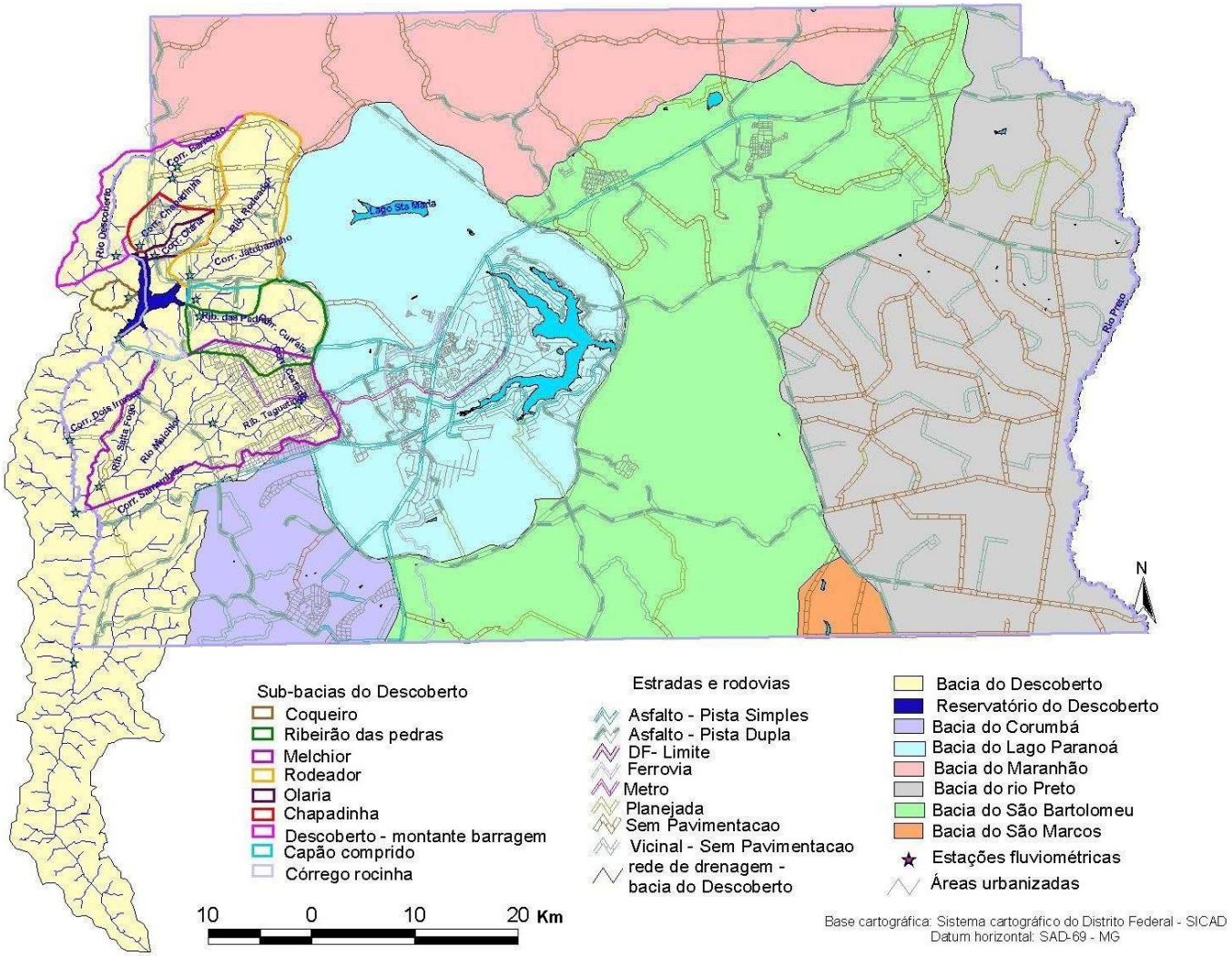

Figura 5.2 – Distrito Federal , estradas, rodovias e as bacias hidrográficas, destacando-se a bacia do Descoberto, contendo a sua rede hidrográfica e principais sub-bacias (Silva, 2003b).

O rio Descoberto é o principal curso de água desta bacia, situado, na maior parte de sua extensão, na divisa entre o Distrito Federal e o Estado de Goiás. Entre outros rios importantes, destaca-se o ribeirão Melchior, que banha as regiões administrativas de Taguatinga e Ceilândia (Carvalho, 2004)

As Figuras 5.3 e 5.4 apresentam, respectivamente, o relevo e a declividade da bacia do Descoberto. Os mapas de declividade representam as medidas do gradiente de declividade do terreno e auxiliam na avaliação das condições de susceptibilidade do terreno aos processos erosivos.

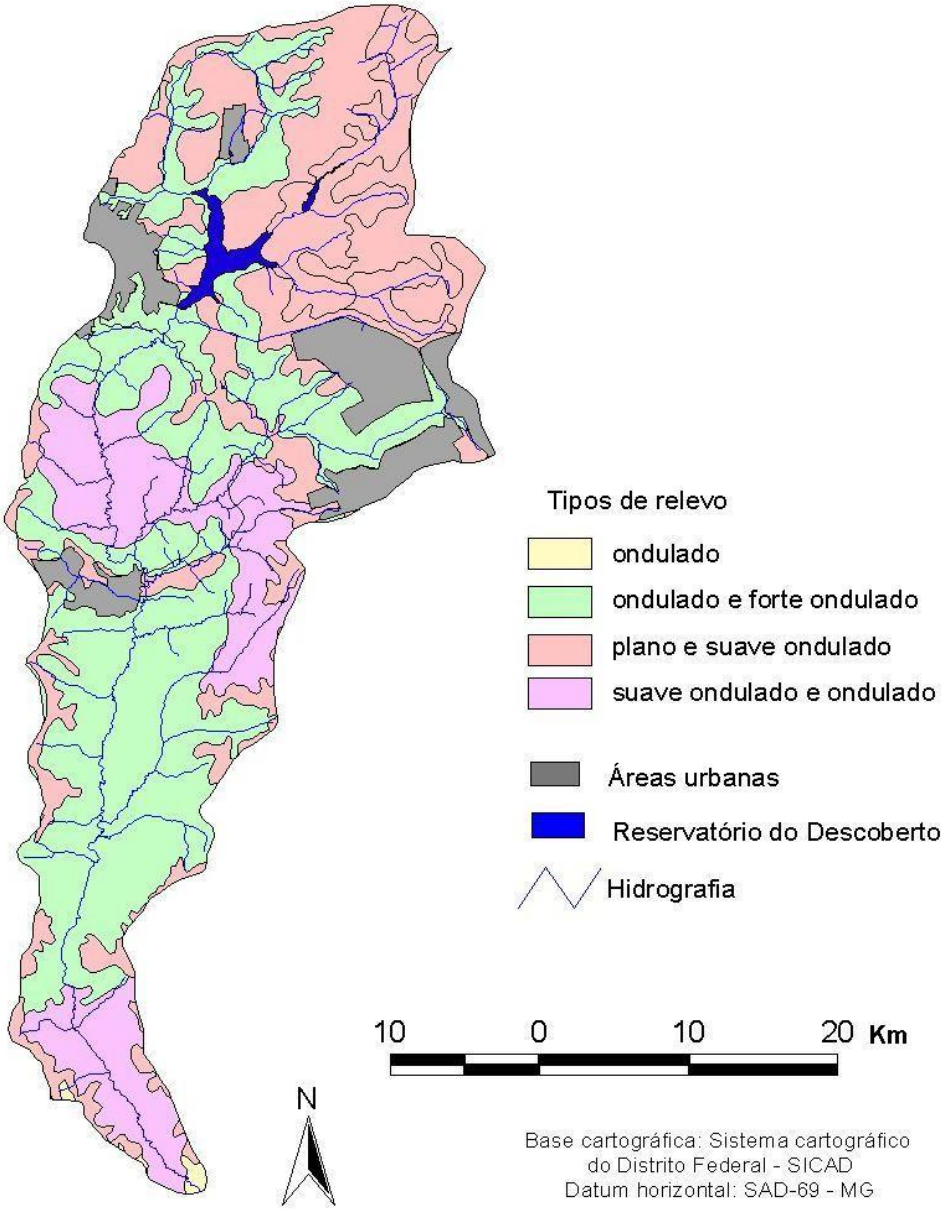

Figura 5.3 – Relevo da bacia do Descoberto (Silva, 2003b).

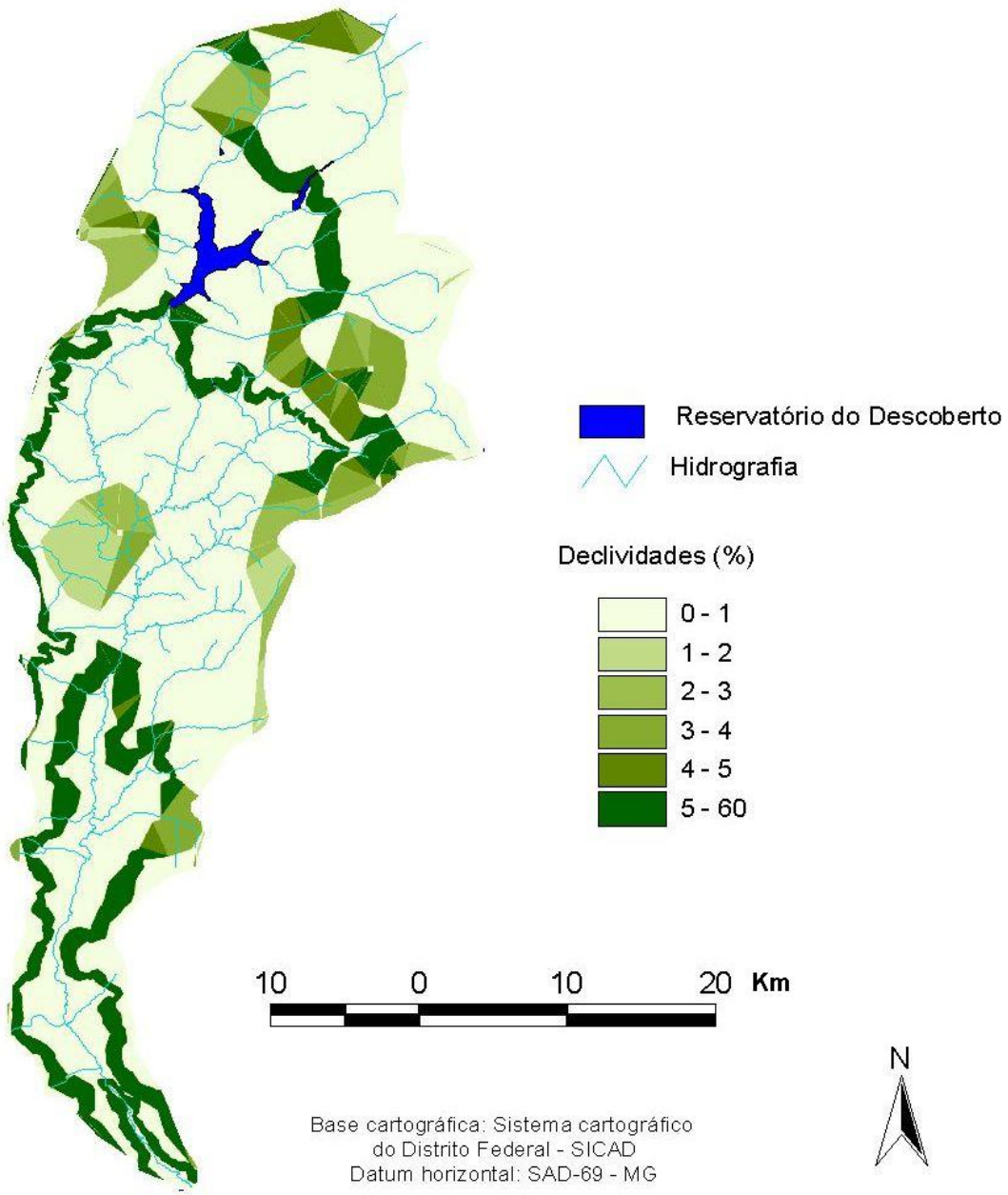

Figura 5.4 – Declividades da bacia do Descoberto.

5.1 - CLIMA

O clima na região do Distrito Federal é caracterizado pela existência de duas estações bem definidas: uma chuvosa e quente, entre outubro e abril, e outra fria e seca, de maio a setembro.

A média pluviométrica anual varia de 1500 a 2000 mm, sendo o mês de janeiro caracterizado pelo maior índice pluviométrico (320 mm/mês) e os meses de junho, julho e agosto pelos menores (50 mm/mês).

A temperatura média anual varia entre 13 e 22ºC, sendo setembro e outubro os meses mais quentes (20 a 22ºC) e junho o mais frio (16 a 18ºC). A umidade relativa do ar pode atingir, em alguns dias de agosto e setembro, o valor mínimo de 11%, enquanto nos meses mais úmidos ela flutua em torno de 75% (Carmo,2001).

Segundo a CODEPLAN (1984), dentro da classificação de Köppen, são encontrados os seguinte tipo de clima na região do Distrito Federal, descritos com relação à morfologia local (Figura 5.5):

- Tropical (Aw) - Clima de savana, cuja temperatura do mês mais frio é superior a 18°C. Este tipo situa-se aproximadamente nos locais com cotas altimétricas abaixo de 1.000 metros como, por exemplo, as bacias hidrográficas do São Bartolomeu, Preto, Descoberto e Maranhão.
- Tropical de Altitude (Cwa) - O mês mais frio possui temperatura inferior a 18°C com uma média superior a 22°C no mês mais quente. Corresponde ao Pediplano de Brasília (altitudes entre 1.000 e 1.200 metros).
- Tropical de Altitude (Cwb) - Caracterizado por uma temperatura inferior a 18°C no mês mais frio com média inferior a 22°C no mês mais quente. Abrange as áreas com cotas altimétricas acima de 1.200 metros (Pediplano Contagem / Rodeador).

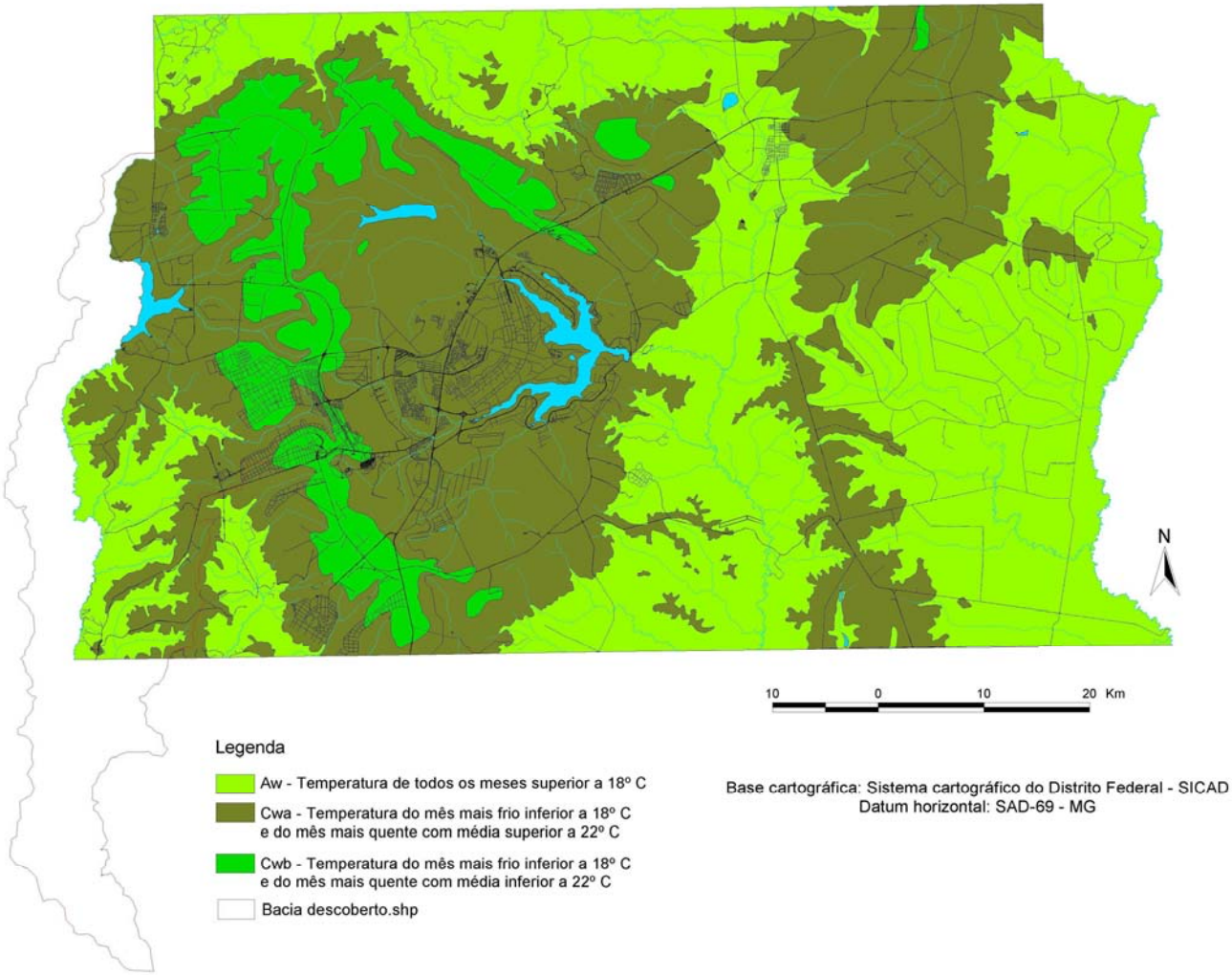

Figura 5.5 – Classificação climática de Köppen segundo Atlas do Distrito Federal (CODEPLAN, 1984).

5.2 - SOLOS

As classes de solos denominadas de latossolo vermelho – escuro (LE), latossolo vermelho – amarelo (LV) e cambissolo (Cb), recobrem cerca de 86% do Distrito Federal, onde a laterização é o processo pedogenético que controla toda a formação de solos na região (Carmo, 2001).

Haridasan (1994) enfatiza que os latossolos poderiam ser originados de qualquer rocha - matriz, desde que esteja submetida a condições climáticas tropicais que permitam a lixiviação intensa e acúmulo de óxidos de ferro e de alumínio. No entanto, no Distrito Federal, os solos de textura argilosa desenvolvem-se a partir das coberturas detrito - lateríticas do Terciário, enquanto que os de textura média surgem em decorrência do intemperismo atuante sobre os quartzitos dos terrenos proterozóicos.

As principais classes de solos ocorrentes na região estão descritas abaixo e representadas na Figura 5.6. Na Figura 5.7 está representada a classificação dos solos de acordo com sua granulometria.

- Latossolos (LE e LV): Resultam de um alto grau de intemperismo e lixiviação, formando uma estrutura bastante porosa, com alto índice de vazios e conseqüentemente baixo peso específico. Os latossolos são a unidade que abrange a maior área do Distrito Federal, cerca de 54,47% (sendo 38,33% latossolo – vermelho (LE) e 15,84% de latossolos vermelho – amarelo (LV)). Como características marcantes, pode-se citar os baixos teores de silte, ausência de minerais primários pouco resistentes, caracterizando-se a baixa fertilidade do mesmo (distrófico), e reduzida susceptibilidade à erosão, variando praticamente de nula a ligeira, ocorrendo às vezes sulcos e voçorocamento em pontos com concentração considerável de água de escoamento superficial ou próximos aos cursos d'água, onde a declividade tende a ser mais acentuada. Apresentam pequenas diferenciações entre os horizontes. A diferenciação entre os latossolos é baseada na cor do horizonte B, que varia de acordo com o tipo do óxido de ferro (Carmo, 2001 e Baptista, 1997).
- Os cambissolos (Cd) são solos que apresentam-se rasos, sendo pouco desenvolvidos, moderados a bem drenados. Textura de média a argilosa, porém não há o acúmulo de argila em qualquer parte do perfil e, em alguns casos, o teor de silte é maior que o de argila no horizonte B, incipiente nesse tipo de solo. Muito susceptíveis à erosão, do tipo laminar

moderada ou severa, bem como em sulcos e voçorocas. Sua formação está relacionada ao intemperismo de filitos, ardósias e metassiltitos da formação Paraopeba do Grupo Bambuí. No Distrito Federal, 31,02% da área apresenta esse tipo de solo, ocorrendo nas vertentes das bacias mais importantes (Maranhão, Descoberto, Paranoá e Preto) (Carmo, 2001 e Baptista, 1997).

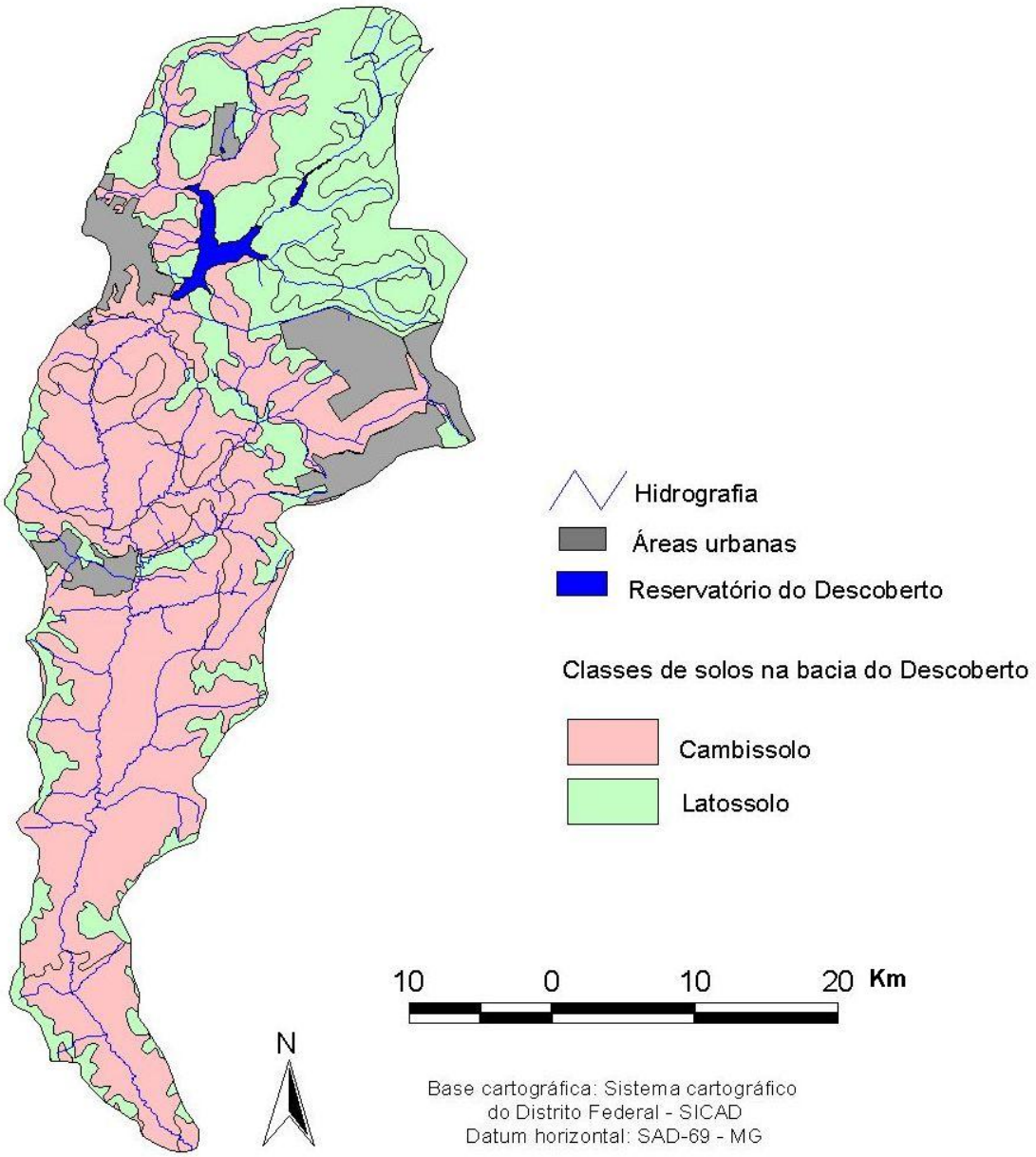

Figura 5.6 – Classificação de solos na área da bacia do Descoberto (Silva, 2003b).

- Solos hidromórficos: São desenvolvidos sob grande influência do lençol freático próximo á superfície, evidenciado pelo acúmulo de matéria orgânica na parte superficial ou pela presença de cores cinzentas indicando a redução do ferro. Os principais problemas

deste solo são quanto à capacidade de suporte e drenagem, sendo normalmente áreas pouco aproveitáveis, com 4,16% da área do Distrito Federal (Carmo, 2001).

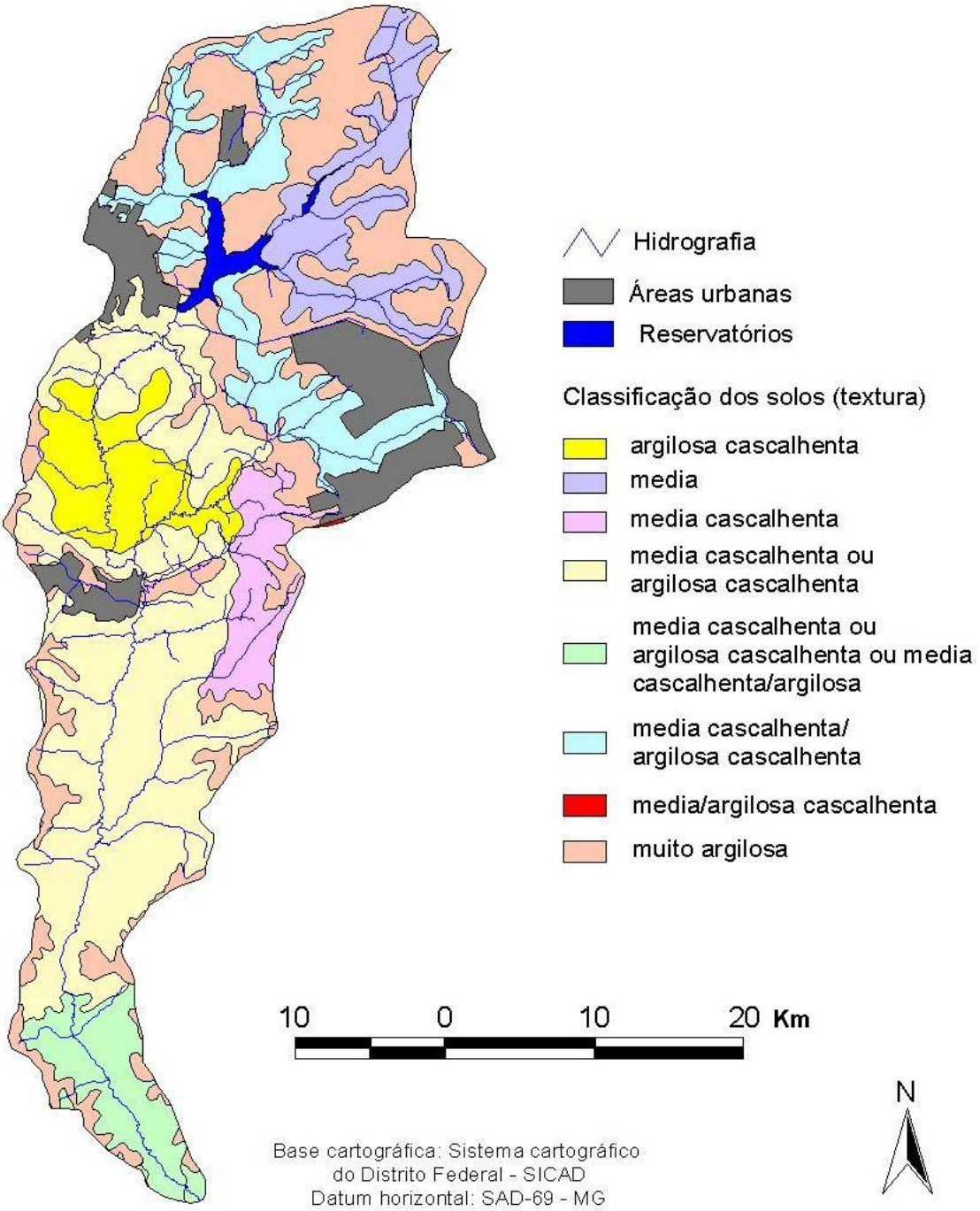

Figura 5.7 – Classificação das texturas dos solos na área da bacia do Descoberto (Silva, 2003b).

5.3 - VEGETAÇÃO

A vegetação predominante é o cerrado constituído desde gramíneas a árvores de grande porte. Esse é o tipo de vegetação presente nos latossolos da região, onde o relevo é geralmente plano ou suave ondulado, de grande continuidade (Carmo, 2001).

O cerrado apresenta-se subdividida em gradações em função do estrato e da densidade vegetal (IEMA/SEMATEC, 1995):

- Cerradão - vegetação predominantemente arbórea, caracterizada por árvores baixas, tortuosas (devido a altas concentrações de ferro e de alumínio), e bem copadas, porém os raios de Sol atingem os estratos inferiores;
- Cerrado típico - caracteriza-se por um maior espaçamento entre as espécies e não possui exemplares de mata ciliar;
- Cerrado ralo ou campo cerrado - é considerada a gradação de transição entre o cerrado típico e o campo sujo, caracterizando-se como mais aberto que o cerrado típico, predominando os estratos herbáceo - arbustivos;
- Campo sujo - a cobertura arbóreo - arbustiva é muito reduzida, cerca de 15%, onde o revestimento dos solos é feito, em sua grande parte, por gramíneas;
- Campo limpo - normalmente encontrados em locais de solos arenosos, rasos e duros, onde a água é fator limitante no inverno seco. Predomínio de estrato herbáceo, praticamente inexistindo os outros.

5.4 - USOS DO SOLO

A bacia do Descoberto, próximo à sua nascente, à altura do córrego Capão da Onça, apresenta uso do solo predominantemente rural e áreas de reflorestamento com pinheiros e eucaliptos. A montante do reservatório observa-se a ocorrência de agricultura intensiva, com criação de gado e suínos em escala comercial, além de hortifrutigranjeiros, o que provoca maior degradação da área devido ao uso intensivo do solo (Lima, 2003).

As atividades agro-industriais estão mais presentes a jusante do reservatório do Descoberto, na região leste da bacia. As atividades industriais são representadas pela instalação de abate e processamento de frangos e por uma distribuidora e envasadora de

refrigerantes, ambas próximas à cidade de Samambaia. A região sul da bacia encontra-se pouco utilizada, apresentando extensas áreas cobertas por cerrados, campos cerrados e matas de galeria ao longo dos rios (Ribeiro *et al*., 2000). Algumas características físicas das sub-bacias do Descoberto estão relacionada na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Características físicas da bacia com relação á cada estação fluviométrica (Barnez, 2004 - modificado).

Nome da estação	**Coordenadas UTM (Datun SAD-69)**		**Cota (m)**	**Área de drenagem (km2)**	**Declividade do rio (m/m)**	**Declividade média da bacia**	**Tempo de concentração médio (min)**
	X (m)	Y (m)					
Córrego Capão Comprido	161084,097	8256469,567	1033	15,686	0,05136	0,0514	204
Ribeirão Chapadinha	155640,517	8261661,965	1048	18,14	0,02115	0,0212	256
Rio Descoberto – montante barragem	153350,567	8260716,14	1040	104,613	0,01587	0,0159	209
Ribeirão das Pedras	161447,883	8254865,614	1041	82,634	0,01703	0,0170	235
Rio Descoberto – montante Melchior	149478,473	8235838,674	900	151,291	0,00641	-	-
Rio Descoberto – Sete Curvas	149288,535	8221269,023	840	539,98	0,00335	-	-
Ribeirão Rodeador	160503,644	8258805,741	1046	116,436	0,01069	0,0107	327

Segundo Avila (2005), o uso e a ocupação do solo da bacia do Capão Comprido são predominantemente agrícolas, sendo explorada a agricultura e a pecuária em pequenas propriedades.

Algumas das principais características relacionadas ao uso e ocupação do solo podem ser visualizadas nas Figuras 5.8 e 5.9, que trazem, respectivamente, uma imagem de satélite obtida no *Googe Earth* com a porção noroeste da bacia e um mapa de usos do solo (IEMA/SEMATEC, 1994).

Figura 5.8 – Imagem de satélite: região nordeste da bacia do Descoberto e reservatório (*Google Earth*, 2006 – Escala desconhecida).

A bacia do ribeirão Chapadinha encontra-se na cidade de Brazlândia, possui vegetação tipo cerrado, sendo uma área bastante usada para agricultura e reflorestamento de eucalipto e apresenta 27% de sua área urbanizada e 54% de solo exposto (Carmo, 2001 e Lima, 2004).

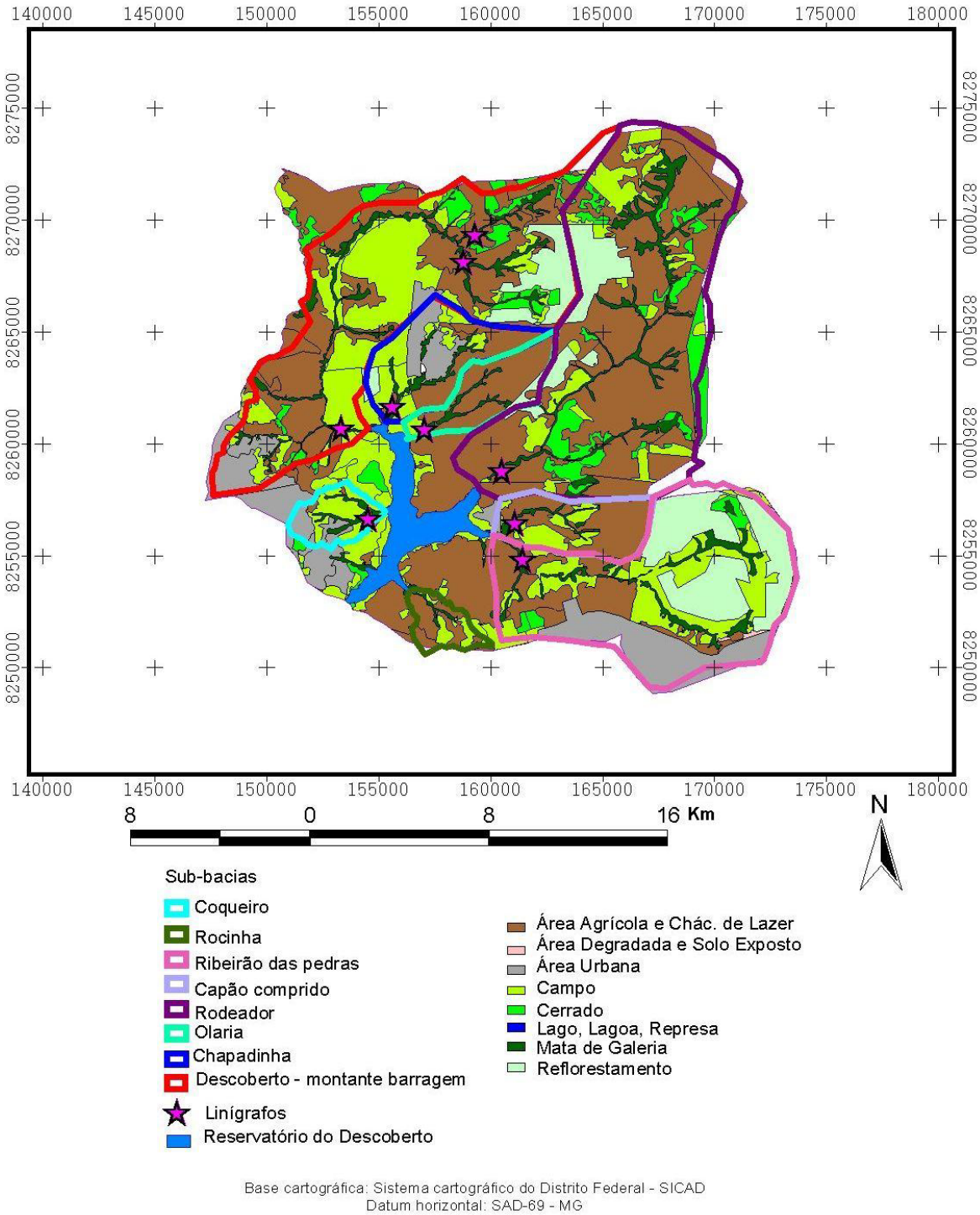

Figura 5.9 – Usos do solo na área das sub-bacias tributárias do reservatório do Descoberto em 1994 (IEMA/SEMATEC, 1994).

O ribeirão das Pedras recebe a contribuição do córrego Currais, e possui histórico de ocorrência de sérias erosões nessa sub-bacia, com a formação de voçorocas que chegaram a alcançar grandes dimensões (Carmo, 2001 e Lima, 2003). A vegetação existente nesta bacia é do tipo cerrado, com a existência de chácaras de plantação de hortaliças, milho,

feijão e café. A bacia do ribeirão das Pedras apresenta 18% de área urbanizada, 38% de área coberta por vegetação e 44% de solo exposto (Lima, 2004).

A bacia do Descoberto a montante da barragem apresenta 8% de ocupação urbana e 28% de área coberta por vegetação (Lima, 2004), sendo esta do tipo mata ciliar, cerrado e vereda (Carmo, 2001).

5.5 - O RESERVATÓRIO

A barragem do rio Descoberto foi concluída em novembro de 1973 e foi construída em função da alteração das perspectivas iniciais acerca do abastecimento de água que baseava-se no sistema do Torto e Santa Maria. A criação das cidades-satélite de Ceilândia e Guará, o rápido esgotamento dos pequenos mananciais e a contínua ocupação das sub-bacias dos tributários do reservatório nortearam a procura de mananciais que pudessem fornecer grandes vazões para atender ao desenvolvimento econômico e ao crescimento populacional (CAESB, CNEC, 1985).

O rio Descoberto é represado nas coordenadas 15º47'S e 48º11'W, após ter recebido sete afluentes que nascem no DF e um afluente que nasce no estado de Goiás. A barragem do Descoberto tem um volume máximo de acumulação de $102x10^6m^3$ com uma área inundada de 14,8 km^2. O vertedor não controlado da barragem tem soleira na cota de 1.028m e, quando não há vertimento na barragem, a adufa permite a liberação de uma vazão em torno de 750 L /s (Barnez, 2004).

Ao mesmo braço do reservatório do Descoberto formado pelo rio Descoberto, contribuem também as bacias dos córregos Chapadinha e Olaria, pela margem esquerda. O córrego Chapadinha recebe as contribuições das áreas de drenagem dos córregos Pulador e Capãozinho que se encontra totalmente incluído no perímetro urbano da cidade de Brazlândia (CAESB, CNEC, 1985).

O ribeirão Rodeador é o principal afluente do rio Descoberto, constituindo o segundo principal braço formador do reservatório, que também recebe as contribuições das bacias de drenagem do córrego Capão Comprido e ribeirão das Pedras.

A bacia do reservatório do Descoberto abrange uma área total de 444 km^2, incluindo-se também as áreas circunvizinhas do reservatório que drenam através de pequenos córregos e a própria área do espelho d'água reservatório que possui área de drenagem de 86 km^2 (CAESB, CNEC, 1985).

6 - MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado nas seguintes etapas:

- Realização dos trabalhos de campo para coleta de amostras, nos meses de junho/2005 a fevereiro/2006;
- Realização de análises em laboratório das amostras coletadas para determinação dos valores de concentração;
- Análise e avaliação dos dados obtidos.

6.1 - TRABALHO DE CAMPO

As coletas foram realizadas em estações fluviométricas já existentes, onde são realizadas medições de vazão e coletas de amostras para análises de qualidade da água, tanto pela CAESB quanto pela UnB, que desenvolve o Projeto: "Definição de Requerimento de Resolução Espacial e Temporal para Monitoramento de Quantidade e Qualidade da Água em Bacias Hidrográficas", também conhecido com "Projeto Descoberto", financiado pela FNDCT/CT-HIDRO, em convênio com a FINEP-FINATEC, e executado pelo Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da UnB.

Dentre os rios que compõem a rede de drenagem a montante do reservatório do Descoberto, foram monitorados o rio Descoberto, o ribeirão Capão Comprido, o ribeirão das Pedras e córrego Chapadinha. A jusante da barragem foram monitoradas duas seções do rio Descoberto, sendo elas a estação "Montante Melchior" e a estação "Sete curvas" (a jusante do rio Melchior). A localização das sub-bacias monitoradas e suas estações fluviométricas são apresentadas na Figura 6.1.

Os tributários do reservatório a serem monitorados foram escolhidos inicialmente em função de suas vazões médias, selecionando-se aqueles com vazões médias mais elevadas, por isso entre eles constava inicialmente o ribeirão Rodeador, que é o principal tributário do reservatório em termos de vazão. No entanto, posteriormente foi feita a opção de monitorar o Capão Comprido ao invés do Rodeador, em função dos atuais interesses científicos do "Projeto Descoberto" acerca da sub-bacia do Capão Comprido.

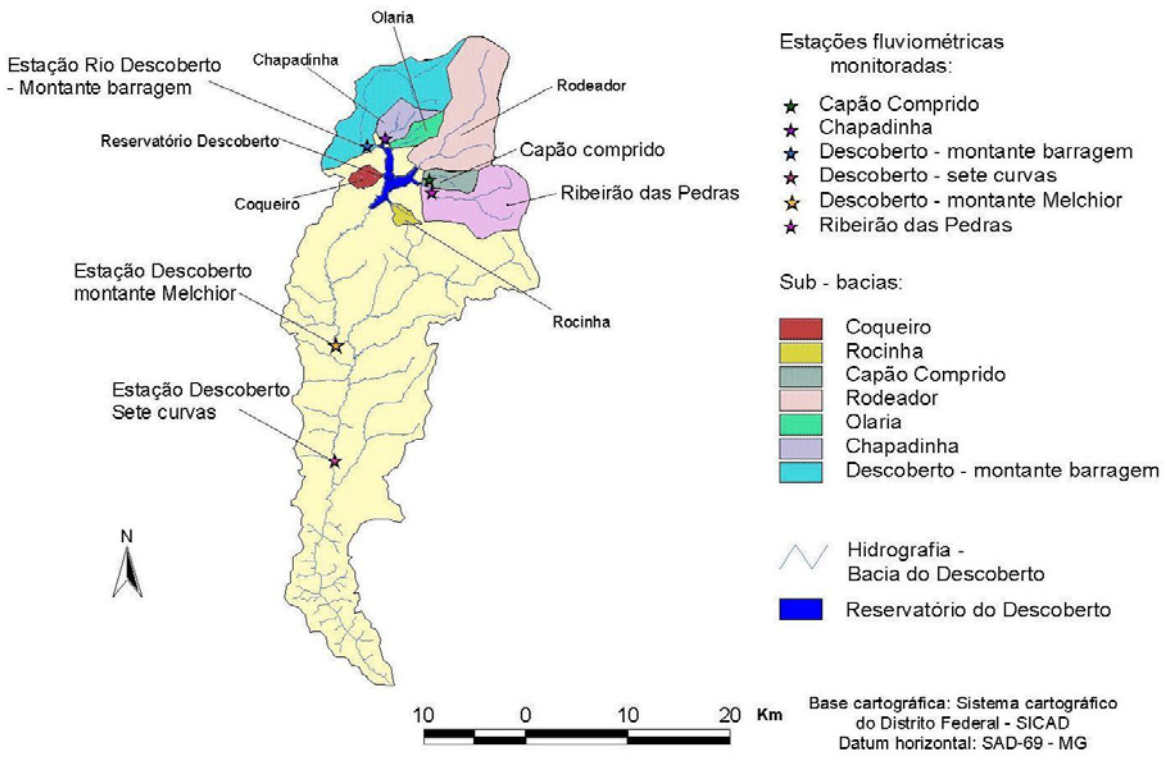

Figura 6.1 – Localização das estações fluviométricas monitoradas.

Foram realizadas campanhas mensais a partir de junho de 2005 até fevereiro de 2006, com exceção dos meses de novembro/2005, em função de problemas relacionados ao deslocamento até o campo e janeiro/2006, em função do veranico ocorrido (Figura 6.2). No mês de junho a campanha de campo teve que ser refeita em função de erros ocorridos durante os trabalhos de laboratório. No mês de dezembro foram coletadas amostras em cotas já mais elevadas, após as primeiras chuvas com maior duração da estação de cheias. No mês de janeiro, em função do veranico ocorrido durante todo o mês, não foram realizadas coletas, apesar de que 3 campanhas foram realizadas ao campo nesse mês, à espera de eventos hídricos que não ocorreram nas estações fluviométricas visitadas. No mês de fevereiro também foram realizadas 4 idas subseqüentes ao campo à espera da ocorrência de eventos, o que aconteceu somente nas estações do rio Descoberto "Montante-barragem", para uma pequena cheia durante um evento de pequena intensidade em que as amostras foram coletadas durante a elevação da cota, e na estação do ribeirão das Pedras, em que as amostras foram coletadas durante a redução da cota.

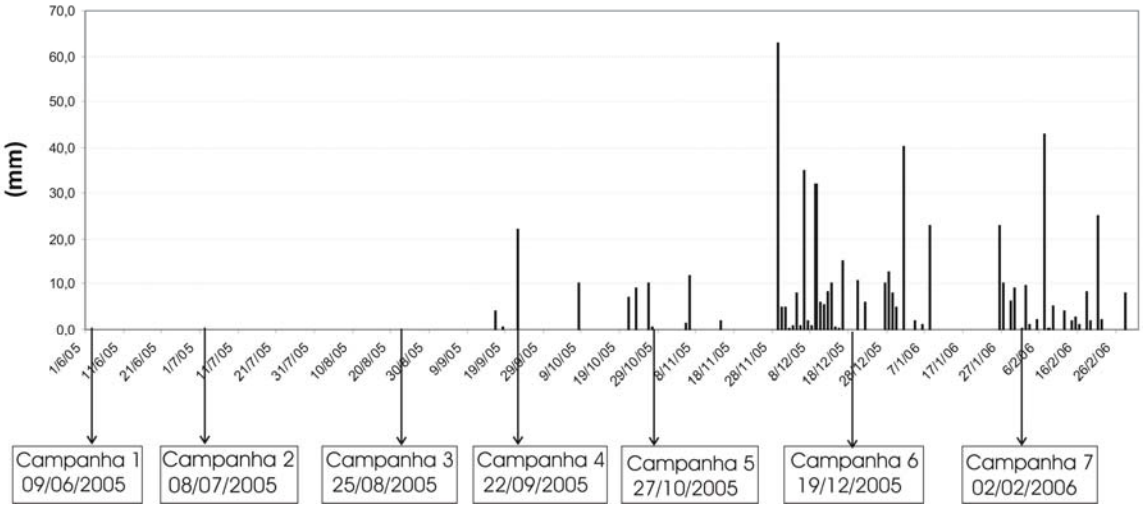

Figura 6.2 – Pluviograma da estação do Descoberto contendo alturas diárias de precipitações para o período monitorado e as datas das campanhas realizadas.

As coletas de amostras de água foram realizadas utilizando-se o amostrador US-DH-59 em seis das sete campanhas em que foram coletadas amostras, e o amostrador pontual de profundidade foi utilizado em uma única campanha, para permitir a elaboração dos gráficos de isovalores de concentração, velocidade e turbidez para as seções, que são apresentados no apêndice A. Em cada uma das campanhas eram trazidas para análise em torno de 30 amostras quando era utilizado o amostrador de profundidade e 58 amostras foram trazidas da campanha em que foi utilizado o amostrador pontual. Foram também coletadas amostras de um litro às margens dos rios e próximos à superfície (à maneira que são coletadas pela CAESB: próximo à margem e à superfície) para análises de concentração.

Os equipamentos foram operados a vau nas estações a montante do reservatório, mesmo nas cotas mais elevadas, pois se tratam de rios de pequeno porte. Na estação Descoberto – Sete curvas só foi possível realizar coletas a vau no mês de outubro, quando as cotas eram baixas, mas na maior parte das campanhas foi utilizado o guincho que era operado na margem do rio, juntamente com os cabos de aço que atravessam a seção, ou o guincho juntamente com o barco. Na estação Descoberto – montante Melchior as coletas puderam ser realizadas a vau, apesar do porte do rio nessa seção a realização das coletas a vau era possível, pois a qualidade da água não representa um risco ao operador. Na estação Descoberto – Sete curvas as medições a vau eram evitadas devido ao risco de

contaminação oferecido pela contribuição do rio Melchior, que à época ainda recebia os esgotos brutos de Taguatinga e Ceilândia.

Em 43% das campanhas realizadas a medição de vazão foi efetuada previamente à coleta de amostras. Nas outras campanhas a vazão era calculada a partir da leitura da cota na régua linimétrica, esse procedimento também foi adotado por Honda e Ochiai (1997). As Figuras 6.3 a 6.5 ilustram a coleta de amostra com a medição de vazão realizada a vau e em barco.

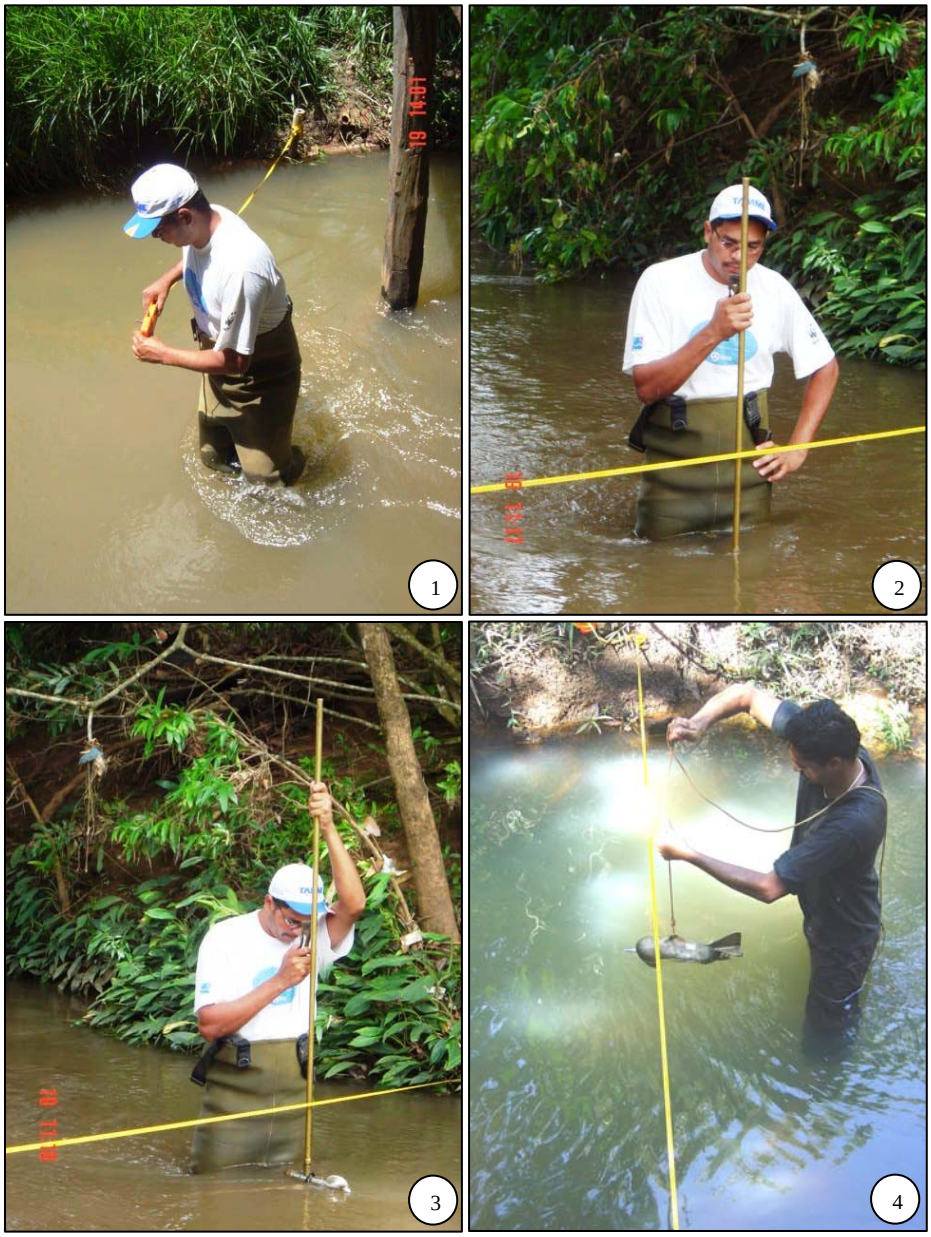

Figura 6.3 – Algumas das etapas de medição de vazão seguida da coleta de amostras de sedimentos em suspensão realizados a vau: 1 – Instalação da trena na seção; 2 – medição da profundidade das verticais; 3 – medição da velocidade nas verticais; 4 – coleta de amostra utilizando o amostrador US-DH-59.

O método utilizado para a coleta das amostras foi o método do Igual Incremento de Largura – IIL que foi escolhido em função de sua praticidade. Nos rios de menor porte,, localizados a montante do reservatório, foram utilizadas três verticais igualmente espaçadas, e nas duas seções de jusante, que possuem maiores dimensões que as demais, foram adotadas cinco verticais para a seção.

Figura 6.4 – Algumas das etapas da coleta de amostras de sedimentos em suspensão realizados a vau: 1 – Instalação da trena na seção; 2 – instalação do guincho no teleférico; 3 – medição da profundidade nas verticais; 4 – coleta de amostras.

Para cada uma das verticais foram determinadas as profundidades e em seguida buscava-se determinar a vertical com maior produto profundidade x velocidade. Nessa vertical era determinada a velocidade de trânsito por tentativa e erro no enchimento da garrafa, que devia ter um volume de amostra aproximadamente igual a 400mL, o que significa encher quase completamente a garrafa. O tempo inicialmente adotado era estimado e cronometrado juntamente com o operador do equipamento. O procedimento era repetido até que a amostra coletada tivesse o volume adequado e, em seguida, o tempo de amostragem era utilizado para efetuar-se o cálculo da velocidade de trânsito.

A velocidade de trânsito calculada era aplicada às outras verticais da seção através da determinação do tempo de amostragem, dividindo-se a o dobro da profundidade de cada vertical (subida e descida) pela velocidade obtida, descontando-se na profundidade os últimos 10 cm que não são amostrados. Portanto, através da aplicação do tempo de amostragem foi possível garantir que a velocidade de amostragem pré-determinada estaria sendo aplicada nas outras verticais.

Figura 6.5 – Algumas das etapas de medição de vazão seguida da coleta de amostras de sedimentos em suspensão realizados a barco: 1 – transporte do barco até a estação; 2 – instalação da trena na seção; 3 – medição da velocidade nas verticais; 4 – coleta de amostras de água para análise sedimentológica.

6.2 - ANÁLISES NO LABORATÓRIO

As análises de laboratório foram realizadas para determinação da concentração das amostras, pelo método da filtração, com a utilização de um papel de filtro com malha de 0,47µm, de acordo com a recomendação de Carvalho *et al*., 2000a (Figura 6.6).

As análises foram realizadas para cada amostra individualmente, não realizando, portanto a composição dessas em uma única amostra composta para a seção, o que permitiu a

realização da análise crítica da variabilidade dos resultados das concentrações nas verticais ao longo das seções.

Figura 6.6 – Etapas das análises de amostras em laboratório:
1 – Medição do volumes da amostra a ser filtrada; 2 – filtração da amostra; 3 – secagem dos papéis de filtro em estufa; 4 – pesagem das amostras secas.

Entre os cuidados adotados para evitar-se erros nas análises estão a lavagem e secagem prévia dos filtros com água destilada antes de sua utilização, sendo que esses deveriam ser pesados imediatamente depois de saírem da estufa e mantidos no dessecador entre uma pesagem e outra, pois o ganho de umidade poderia alterar o resultado. Os filtros eram mantidos na estufa com temperatura em torno de 100º C por um período de 1 hora, de acordo com as recomendações de Carvalho *et al*. (2000a) e Carvalho (1994).

No campo tomou-se o cuidado de duplicar as amostras que apresentavam pequenos volumes, devido a baixas velocidades de escoamento. Dessa forma foi possível acumular material para análise em uma única vertical, sem precisar compor a amostra com outras provenientes de verticais distintas, melhorando a precisão das análises.

6.3 - TIPOS DE ANÁLISES DOS DADOS REALIZADAS

A partir dos dados obtidos foram realizadas análises sedimentométricas, em que foram analisados os comportamentos das seções com relação às variações das concentrações de sedimento em suspensão e velocidades; e análises sedimentológicas que foram realizadas para a obtenção de informações sobre o comportamento das sub-bacias com relação à produção de sedimento, determinando-se os valores das descargas nas estações, suas produções específicas de sedimento e realização das análises sobre o assoreamento do reservatório do Descoberto.

6.3.1 - Análises sedimentométricas

6.3.1.1 - A variabilidade da concentração de sedimentos em suspensão entre as verticais de uma seção

Foram realizadas análises das concentrações em cada uma das verticais para permitir a avaliação das variações dos valores de concentração e velocidades entre as verticais de cada seção.

Essa análise poderá permitir um conhecimento melhor sobre o padrão de comportamento para essas variações e suas relações (concentrações e velocidades), além da determinação da(s) vertical(is) mais representativas com relação à concentração.

6.3.1.2 - A representatividade da determinação da concentração de sedimentos em suspensão na seção a partir de uma única amostra colhida às margens (Sólidos em suspensão)

Durante a realização do trabalho foram coletadas amostras de sólidos em suspensão às margens das seções para a realização de análises e determinação da concentração. Os

resultados foram comparados aos dados de concentração de sedimentos obtidos pelo método do Igual Incremento de Largura - IIL, verificando assim a sua representatividade com relação aos dados sedimentométricos considerados mais confiáveis, e verificando a possibilidade de encontrar alguma correlação entre estes.

6.3.2 - Análises sedimentológicas

6.3.2.1 - As curvas-chave de sedimento (suspensão e total)

Os conjuntos de valores de descarga sólida juntamente com a vazão correspondente, obtidos nas campanhas, foram plotados em um gráfico por seção e utilizados para a elaboração das curvas-chave de sedimento para cada seção. Foi ajustada uma curva de função exponencial como recomendam Pavanelli e Pagliarani (2002), sendo esse o modelo mais comumente usado de acordo com Asselman (2000) e cujos parâmetros para o ajuste são a avaliação visual da dispersão dos pontos e um coeficiente de determinação de no mínimo 0,6, como adotado por Lima *et al*. (2005).

As curvas-chave de sedimentos foram aplicadas com extrapolação de seus limites de aplicação. Segundo Carvalho (1994), a extrapolação apesar de não ser recomendada é bastante utilizada. Neste estudo a extrapolação foi utilizada devido à falta de outras alternativas mais precisas na ocasião, entretanto todas as limitações decorrentes da extrapolação foram elucidadas.

A descarga sólida total foi calculada, pois é necessária para a realização dos cálculos para a previsão do assoreamento do lago. Utilizou-se para isso o método simplificado de Colby, pois não havia dados dos sedimentos do leito para a aplicação de um método mais preciso como o método modificado de Einstein.

Foi utilizado o software de Furnas Centrais Elétricas para o cálculo do transporte de sedimentos em rios – versão 0 (1996), o que torna mais prático o procedimento de cálculo, eliminando as consultas aos ábacos utilizados no método.

O procedimento para a elaboração das curvas-chave de sedimentos total foi o mesmo adotado para as curvas-chave de sedimentos em suspensão, cuja variável independente

também é a vazão medida no instante da medição (m^3/s), fornecendo valores da descarga de sedimentos total em toneladas/dia.

6.3.2.2 - A aplicação do estudo realizado pela CAESB em 1989

Os dados obtidos na CAESB, provenientes de estudo realizado no Plano Diretor de Águas e Esgotos das Invasões e Núcleos Rurais do Distrito Federal, desenvolvido pelo CNEC-1989, encontravam-se somente como registros dos trabalhos de campo, sendo que os resultados dos cálculos para a determinação das descargas transportadas nas sub-bacias não foram encontrados.

Neste estudo esses dados foram analisados aplicando-se os mesmo procedimentos descritos para as curvas-chave de sedimentos em suspensão, e foi possível realizar as análises acerca da evolução da degradação da bacia a partir de comparações dos resultados de ambos os estudos.

6.3.2.3 - Aplicação das curvas-chave de sedimentos em suspensão

Os valores diários de vazão do período de 1995 a 2005 foram aplicados às curvas-chave que foram determinadas previamente, obtendo-se os valores diários para a descarga sólida em suspensão, e partir daí calculou-se a descarga de sólidos em suspensão média e o deflúvio sólido anual para cada ano entre 1995 e 2005.

As descargas sólidas também poderiam ser obtidas através das curvas de permanência de vazões, mas se há disponibilidade de dados diários de vazão e recursos computacionais para a realização dos cálculos, recomenda-se a aplicação dos dados de vazão líquida à curva-chave de sedimentos por ser considerado um método mais correto, mais simples, e mais objetivo do que a utilização da curva de permanência de vazões (Wilson-Jr, 1999). Este procedimento também foi utilizado por Carvalho *et al.* (2005), Carvalho *et al.* (2001) e Lima *et al.* (2005).

Nas quatro seções de montante os valores diários de vazão foram obtidos na CAESB. Os valores foram calculados a partir de leituras realizadas nas réguas linimétricas às 7:00 e às

17:00 horas, sendo que a média entre essas duas vazões foi aplicada à curva-chave de sedimentos.

As duas seções de jusante não têm esse acompanhamento realizado pela CAESB, portanto, a obtenção dos valores das cotas se deu a partir dos registros de cotas linimétrica dos linígrafos instalados nessas seções pelo Programa do Descoberto-UnB/FINATEC. Entretanto, só há dados disponíveis a partir de 2003. Dentre esses valores foram selecionadas as cotas para os mesmos horários em que se realizam as leituras de cotas nas seções de montante (7:00 e 17:00) para serem aplicados às curvas-chave de vazão estabelecidas para as seções, e calculada a média entre as duas vazões. Devido às eventuais falhas ocorridas no equipamento, havia lacunas de alguns dias ou até meses inteiros sem dados nos registros do linígrafo, as falhas ocorreram no mês de fevereiro para os anos de 2004 e 2005 nas estações rio Descoberto – Sete curvas e rio Descoberto – Montante Melchior. As falhas foram preenchidas com valores registrados no mesmo mês para outros anos.

A partir dos valores diários de descarga sólida em suspensão e total, foram calculadas as médias mensais para a descarga sólida em suspensão e vazões para cada estação para o período de 1995 a 2005 e as médias para as seções, considerando os valores de vazão e descarga sólida em suspensão e deflúvios médios (líquido e sólido).

Em seguida foram calculadas a vazão específica, a descarga sólida em suspensão específica e a descarga sólida total específica, que foram obtidos relacionando-se as descargas médias às áreas de drenagem de cada sub-bacia. Calculou-se também para cada sub-bacia, a concentração de sólidos em suspensão média, dividindo-se a DSS média pela vazão média e pelo fator 0,0864 (conversão de unidades).

As curvas de massa, utilizadas por Carvalho *et al*.(2005) e por Carvalho *et al*.(2001), foram elaboradas utilizando-se os valores acumulados dos deflúvios líquido e sólido em suspensão, a partir dos coeficientes angulares das retas ajustadas, foram calculadas as taxas de variação do transporte de sedimentos correspondentes (E_c) assim como as taxas anuais (R) para as quatro seções de montante que foram obtidas a partir dos coeficientes angulares dos trechos equivalentes aos períodos. O valor Ec representa o aumento na carga de sedimentos para o período de n anos, sendo que R é a taxa anual.

$$E_C = \frac{r_2 - r_1}{r_1} \tag{7.01}$$

$$(1 + R)^n = 1 + E_C \tag{7.02}$$

6.3.3 - A avaliação do assoreamento do Reservatório do Descoberto

As estações monitoradas neste trabalho não incluem todos os afluentes do reservatório, dessa forma, para a obtenção da descarga sólida total afluente, foram utilizados os dados obtidos no monitoramento sedimentométrico CAESB, CNEC (1989) para o ribeirão Rodeador e foi aplicado o método de regionalização, a fim de obter-se os dados para as sub-bacias que não foram monitoradas.

O cálculo da avaliação do assoreamento do reservatório foi realizado de duas maneiras. Primeiramente calculou-se de forma simplificada, através da aplicação dos conceitos da eficiência de retenção do reservatório, do peso específico aparente dos depósitos de sedimento e da descarga sólida afluente, com a utilização das fórmulas 3.17 e 3.18.

Foi também utilizado para esse cálculo o *software* "*Sediment* – vs. 1.1", que aplica os mesmos conceitos citados acima, mas fornece os valores a cada ano, para os 33 anos de funcionamento do reservatório, considerando que os valores da eficiência de retenção sofrem alterações todos os anos em função da redução da capacidade do reservatório, assim como o peso específico aparente dos sedimentos, em função da compactação sofrida com a sedimentação.

Os dados foram comparados aos resultados obtidos no levantamento topobatimétrico realizado pela CAESB, Magna (2002), que fornecem informações sobre o processo de assoreamento que o reservatório do Descoberto vem sofrendo desde sua ativação, há 33 anos.

O levantamento batimétrico foi realizado por meio do uso de um ecobatímetro capaz de fornecer registros detalhados da topografia do leito, e seu posicionamento foi determinado por meio de DGPS (*Differencial Global Positioning System*) e GPS geodésico, as

referências de nível foram implantadas em marcos geodésicos, cujas coordenadas planialtimétricas eram conhecidas. O levantamento batimétrico foi realizado em seções paralelas perpendiculares ao eixo longitudinal do reservatório, afastadas entre si de 100m e com pontos a cada 40m (CAESB, Magna, 2002).

7 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 - VARIABILIDADE DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO ENTRE AS VERTICAIS DE UMA SEÇÃO

A análise da variabilidade da concentração de sedimentos em suspensão ao longo das seções transversais estudadas foi realizada com o auxílio dos seguintes recursos:

- Imagem de satélite do *Google Earth* mostrando a morfologia do rio em cada uma das estações;
- O perfil de cada seção;
- Gráficos que representam a variabilidade dos valores de concentração de sedimentos em suspensão e velocidades nas verticais;

Os gráficos foram apresentados de forma que o fluxo esteja "saindo" da seção, sendo que o lado esquerdo dos gráficos equivale à margem direita da seção e o lado direito equivale à sua margem esquerda. Com esta forma de apresentação fica mais simples visualizar a situação real para a realização das análises.

7.1.1 - Ribeirão Capão Comprido

No ribeirão Capão Comprido a estação encontra-se em um local que não é retilíneo, pois este rio possui meandros pouco distanciados (Figura 7.1-1). Devido a sua morfologia, a distribuição das velocidades na seção não é uniforme, pois as maiores velocidades concentram-se na margem direita (Figura 7.2-2), o que leva a uma maior degradação do leito próximo a essa margem, como pode ser observado na Figura 7.1-2, que representa o perfil da seção, e verifica-se que as profundidades próximas à margem direita são mais elevadas, sendo uma seção bastante assimétrica. Enquanto que na margem esquerda, onde se encontram as menores velocidades (Figura 7.2-2), tornou-se uma região de agradação (deposição), apresentando dessa forma, profundidades menores, como pode-se observar na Figura 7.1-2.

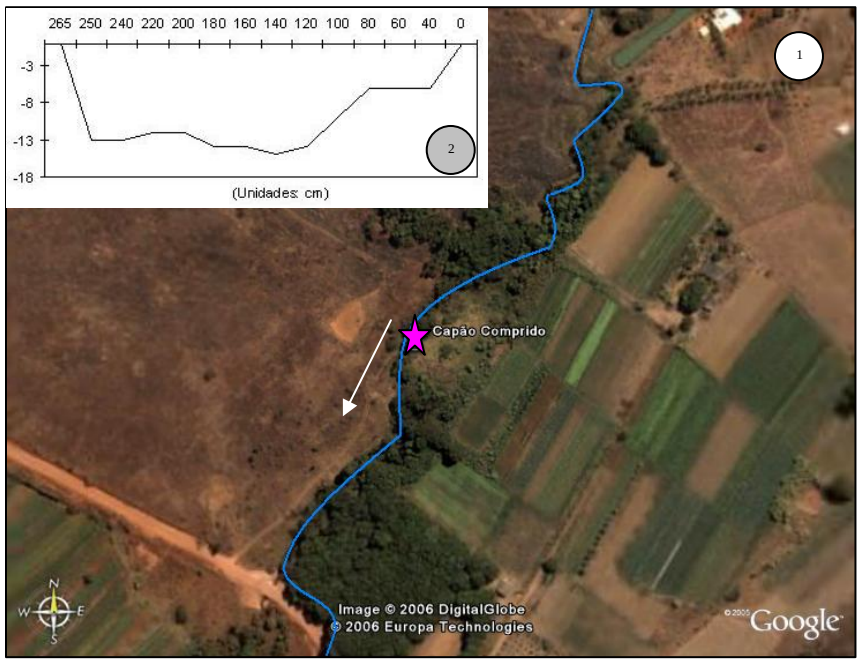

Figura 7.1 – Gráficos para a análise do comportamento da seção do Capão Comprido: 1 – Imagem de satélite mostrando em destaque a morfologia do rio nas proximidades da estação fluviométrica e o sentido do fluxo; 2 – perfil da seção transversal do rio na estação fluviométrica.

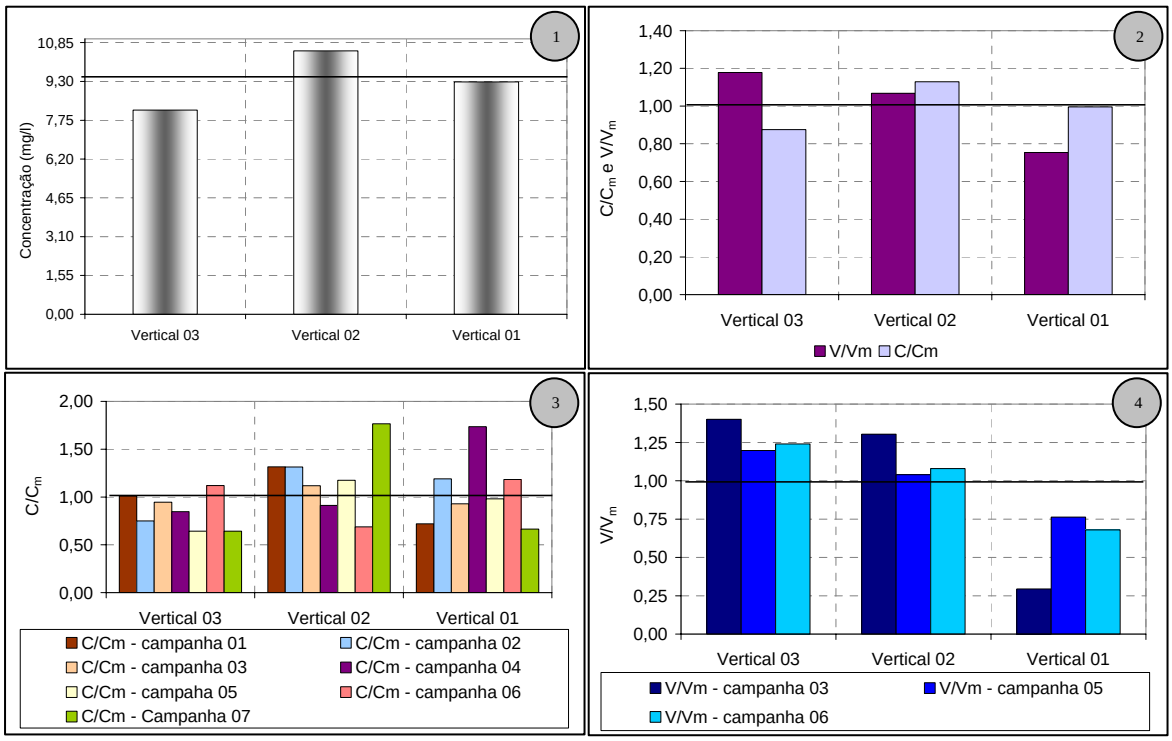

Figura 7.2 – Gráficos para a análise do comportamento da seção Capão Comprido: 1 – Variação da concentração média ao longo da seção; 2 – relação entre as concentrações médias nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) e entre as velocidade médias nas verticais (V) e a velocidade média na seção (Vm); 3 – relação entre as concentrações nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) por campanha realizada; 4 – relação entre as velocidades nas verticais (V) e a velocidade média da seção (Vm) por campanha realizada.

Segundo Henklein e Coiado (1999), os rios pequenos apresentam grande variabilidade entre os valores de concentração, sendo que a concentração média numa vertical pode afastar-se da concentração média em toda a seção em até 70%, sendo que para rios grandes essa relação é menor do que 15%. Old *et al.* (2003) consideram que rios de grande declividade apresentam pequena variabilidade entre os valores de concentração entre as verticais, apresentando seções bem misturadas. Neste trabalho, as seções apresentaram-se de modo geral bem misturadas, em que percebe-se pequenas variações com relação à concentração média na seção, sendo que as concentrações nas verticais se afastam da concentração média em torno de 9%, e verificou-se que nos rios de maior porte essa variação é realmente ainda menor.

Com relação à análise das concentrações, considerando-se as análises conjuntas dos gráficos das Figuras 7.2-1 e 7.2-3, é possível verificar que a seção do Capão Comprido pode ser considerada uma seção bem misturada com relação à distribuição das concentrações de sedimento em suspensão, pois as concentrações médias nas verticais variam pouco com relação à concentração média da seção, com variação média em torno de 8,6%.

Segundo Carvalho (1994) a distribuição de sedimentos na seção transversal é variável em função da velocidade da corrente, da disponibilidade de sedimentos e de sua granulometria, sendo que as velocidades são menores perto das margens assim como as concentrações, aumentando para o centro, e reduzindo novamente ao se aproximar da outra margem, pois as verticais que apresentam velocidade de fluxo mais elevada têm maior energia disponível para manter o sedimento em suspensão e sua concentração mais elevada. Entretanto, como pode ser observado na Figura 7.2-2, esse comportamento não está coerente com o que é esperado, pois a análise da distribuição das velocidades nas verticais verificada na Figura 7.2-2 e Figura 7.2-4 demonstra que as velocidades aumentam da esquerda para a direita e não coincidem com a distribuição das concentrações nas verticais. A vertical onde foram registradas as maiores velocidades é a vertical de menor concentração média, como observado na Figura 7.2-2.

As hipóteses que poderiam explicar esse comportamento podem estar relacionadas a granulometria do sedimento, a imprecisões do método, tanto na amostragem quanto no laboratório, entretanto não há dados suficientes para elucidar esta questão.

7.1.2 - Ribeirão Chapadinha

Na seção do ribeirão Chapadinha o trecho do rio é praticamente retilíneo, (Figura 7.3-1), apresentado distribuição de velocidades bastante uniformes ao longo da seção (Figura 7.4-2).

Figura 7.3 – Gráficos para a análise do comportamento da seção do ribeirão Chapadinha: 1 – Imagem de satélite mostrando em destaque a morfologia do rio nas proximidades da estação fluviométrica e o sentido do fluxo; 2 – perfil da seção transversal do rio na estação fluviométrica.

A distribuição das concentrações nas verticais (Figura 7.4-1) não foi tão uniforme quanto a distribuição das velocidades (Figura 7.4-2). As concentrações médias aumentaram da margem esquerda para a direita, sendo maiores onde havia menores profundidades. As concentrações se distanciaram da concentração média em torno de 17%, sendo que as maiores discrepâncias foram encontradas na vertical da direita, que se afastou da concentração média em 25%.

Uma hipótese que poderia explicar a distribuição encontrada para as concentrações na seção poderia estar relacionada ao seu perfil (Figura 7.3-2), em que a maior quantidade de depósitos é formada no lado direito da seção, o que poderia ser caracterizado como maior quantidade de material disponível, interferindo na distribuição das concentrações na seção segundo Carvalho, 1994.

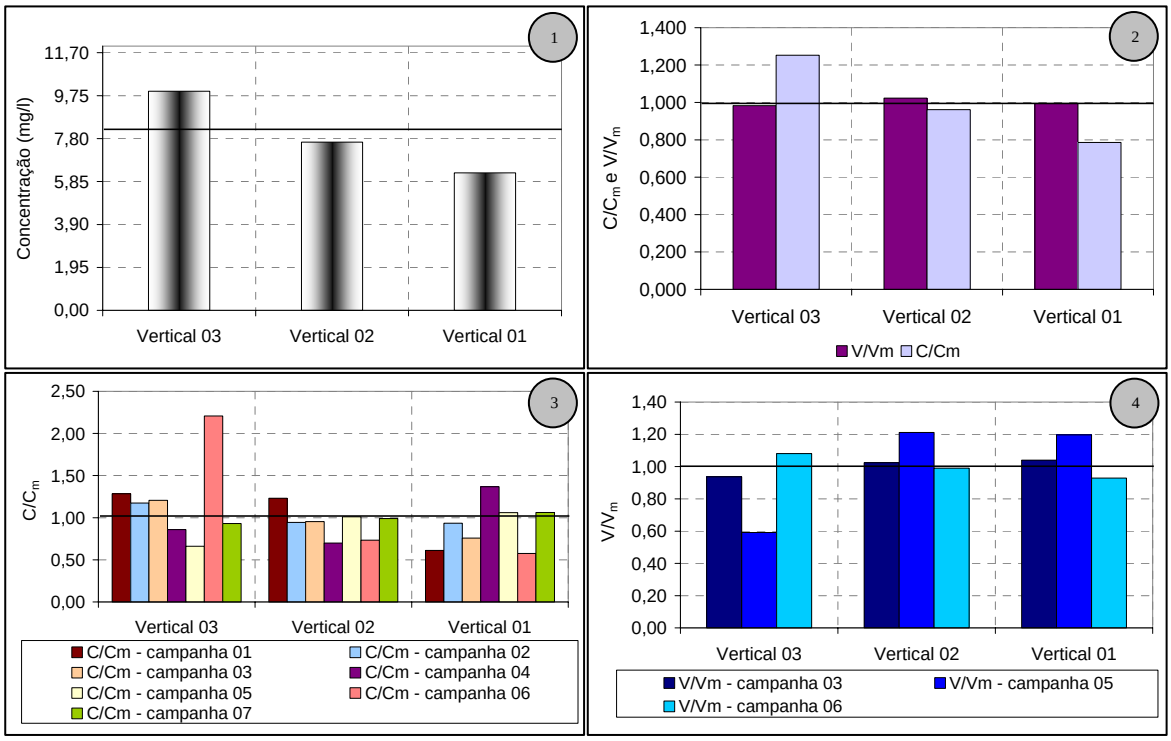

Figura 7.4 – Gráficos para a análise do comportamento da seção ribeirão Chapadinha: 1 – Variação da concentração média ao longo da seção; 2 – relação entre as concentrações médias nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) e entre as velocidade médias nas verticais (V) e a velocidade média na seção (Vm); 3 – relação entre as concentrações nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) por campanha realizada; 4 – relação entre as velocidades nas verticais (V) e a velocidade média da seção (Vm) por campanha realizada.

7.1.3 - Rio Descoberto – montante barragem

A estação do rio Descoberto – Montante barragem situa-se em um trecho do rio consideravelmente retilíneo quando comparado aos demais (Figura 7.5-1) e possui a distribuição de velocidades na seção bastante uniforme (Figura 7.6-2).

A distribuição das concentrações nas verticais com relação à concentração média também é uniforme, em média se afastam 3% desta. A vertical 01 (da esquerda) apresentou maiores discrepâncias entre os valores de concentração obtidos em cada campanha (Figura 7.6-3), sendo também esta a seção que possui a menor profundidade e a maior quantidade de depósitos de sedimento depositados no fundo.

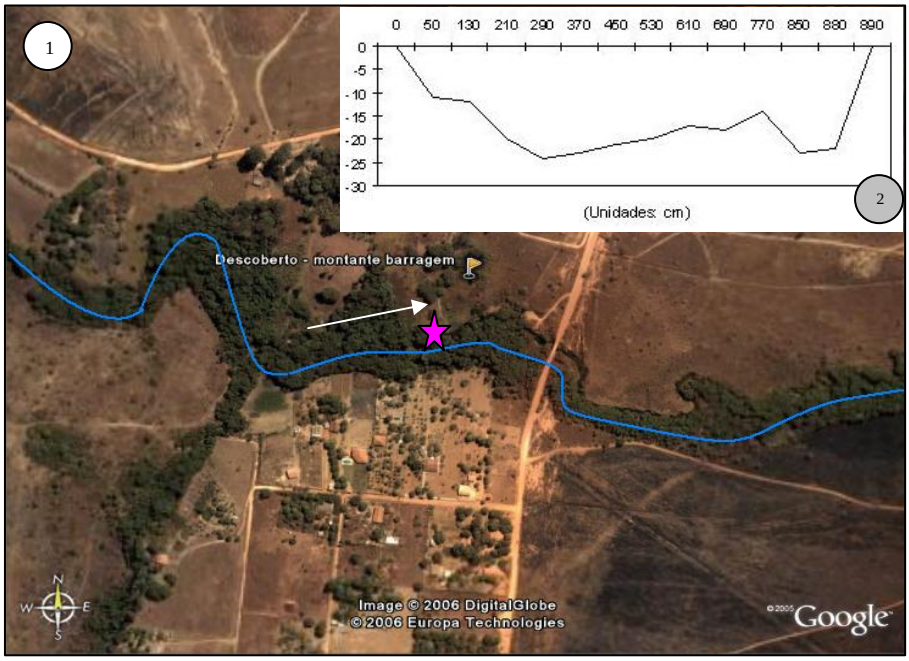

Figura 7.5 – Gráficos para a análise do comportamento da seção do Descoberto – Montante barragem: 1 – Imagem de satélite mostrando em destaque a morfologia do rio nas proximidades da estação fluviométrica e o sentido do fluxo; 2 – perfil da seção transversal do rio na estação fluviométrica.

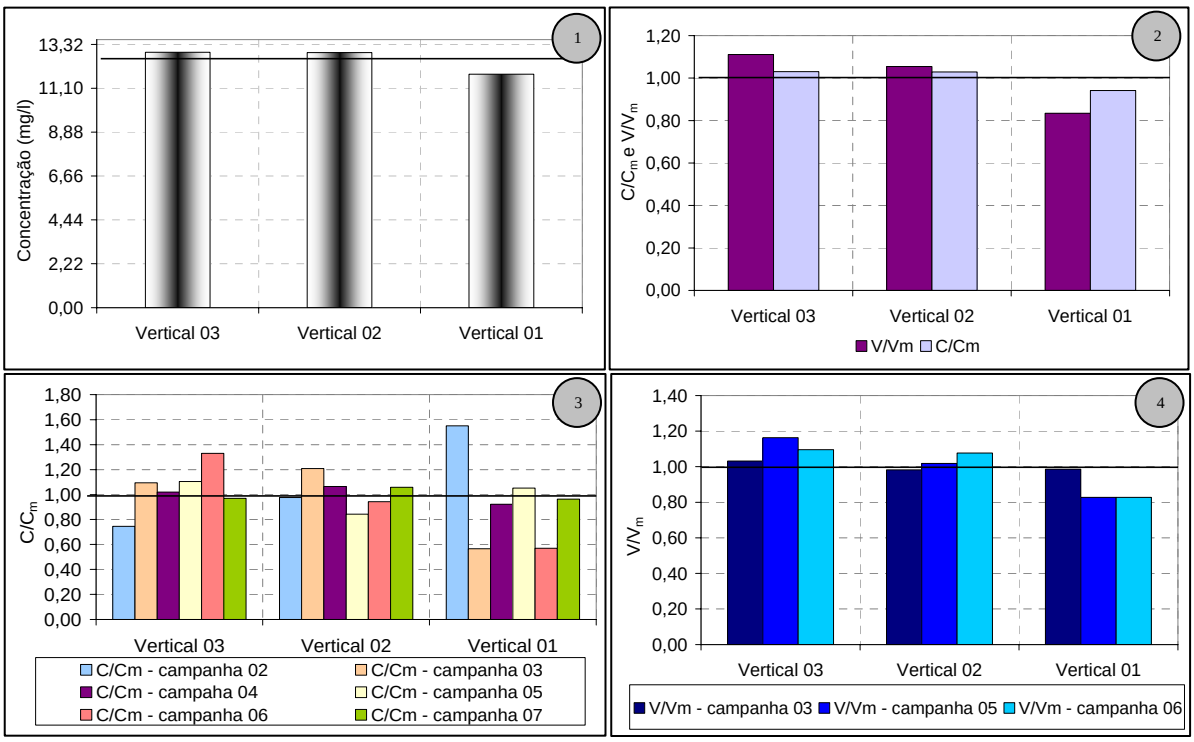

Figura 7.6 – Gráficos para a análise do comportamento da seção rio Descoberto – montante barragem: 1 – Variação da concentração média ao longo da seção; 2 – relação entre as concentrações médias nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) e entre as velocidade médias nas verticais (V) e a velocidade média na seção (Vm); 3 – relação entre as concentrações nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) por campanha realizada; 4 – relação entre as velocidades nas verticais (V) e a velocidade média da seção (Vm) por campanha realizada.

7.1.4 - Ribeirão das Pedras

A seção do ribeirão das Pedras está localizada no meio de um meandro que apresenta curvatura para a direita (Figura 7.7-1) e logo a montante está localizado outro meandro que também está encurvado para essa direção. As alterações no sentido do fluxo, impostas pela morfologia do rio nesse local levam a alterações também na distribuição das velocidades na seção, sendo que a seção está localizada em um desses pontos de transição. Em alguns locais da seção, apesar de que o fluxo segue um sentido preferencial, os refluxos em diferentes direções dificultavam a utilização do molinete, que girava em dois sentidos ou não girava. Portanto, nessa situação a comparação das velocidades aos valores de concentração torna-se mais complicada, pois as velocidades registradas podem não ser aquelas que estão mantendo o sentimento em suspensão, e este pode estar sendo sustentado pelo refluxo multidirecional gerado na situação descrita.

As verticais 01 e 02 (esquerda e central) apresentam velocidades médias mais elevadas na seção (Figura 7.8-2), sendo que a vertical que apresenta as maiores velocidades é a vertical central.

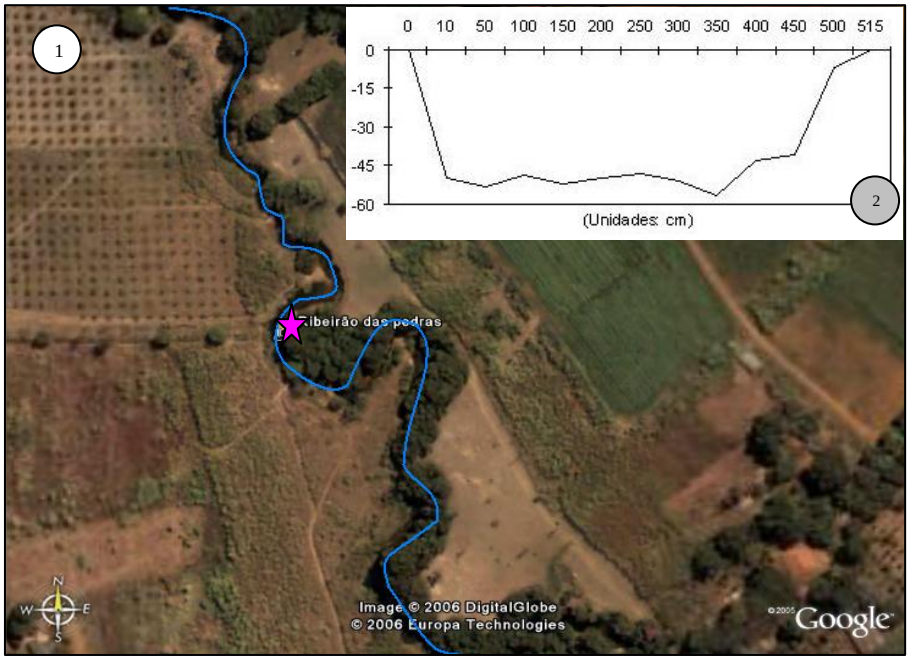

Figura 7.7 – Gráficos para a análise do comportamento da seção do ribeirão das Pedras: 1 – Imagem de satélite mostrando em destaque a morfologia do rio nas proximidades da estação fluviométrica e o sentido do fluxo; 2 – perfil da seção transversal do rio na estação fluviométrica.

A concentração na vertical 3 (direita) foi a que menos se afastou da concentração da seção (3%) e as maiores concentrações foram obtidas na vertical 1 (esquerda), os valores se afastam da concentração média em torno de 11% (Figura 7.8-1).

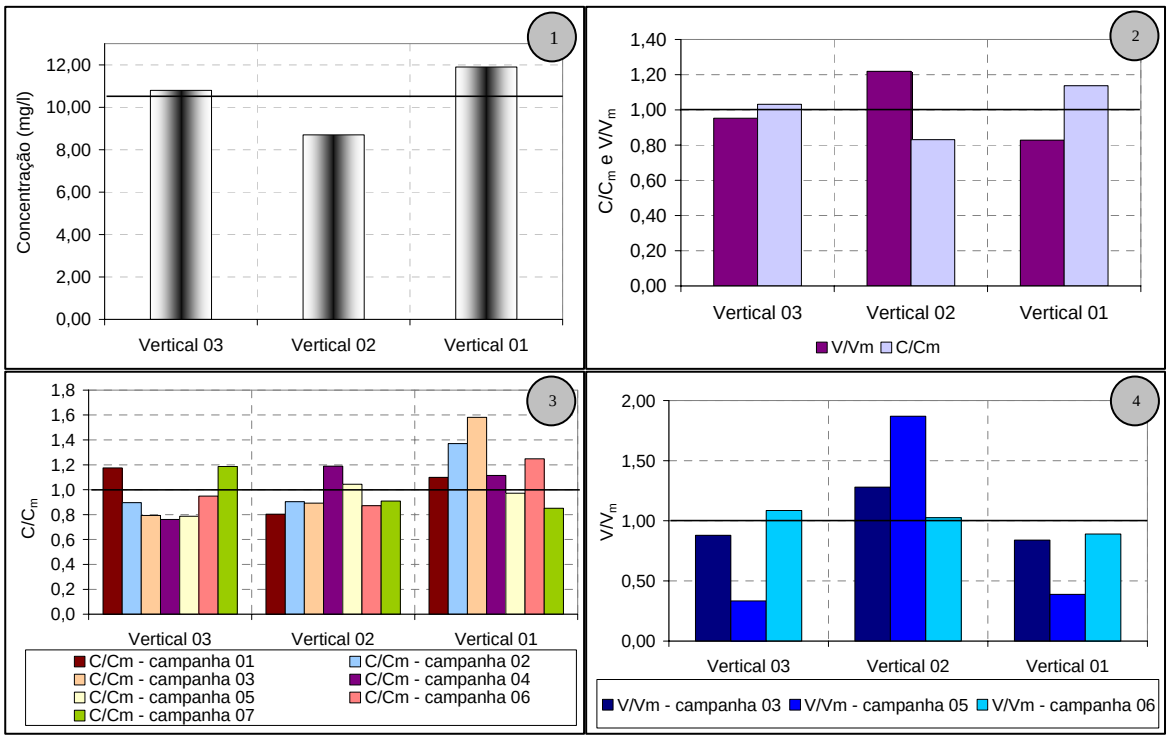

Figura 7.8 – Gráficos para a análise do comportamento da seção ribeirão das Pedras: 1 – Variação da concentração média ao longo da seção; 2 – relação entre as concentrações médias nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) e entre as velocidade médias nas verticais (V) e a velocidade média na seção (Vm); 3 – relação entre as concentrações nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) por campanha realizada; 4 – relação entre as velocidades nas verticais (V) e a velocidade média da seção (Vm) por campanha realizada.

7.1.5 - Rio Descoberto – montante Melchior

A estação fluviométrica do rio Descoberto – Montante Melchior encontra-se situada numa seção bastante retilínea como é ilustrado na Figura 7.9-1. Devido a esse fato, essa foi a seção que mais se aproximou de uma seção uniforme, tanto com relação a distribuição das velocidades nas verticais (Figura 7.10-2) quanto com relação à distribuição das concentrações de sedimentos em suspensão (Figura 7.10-1).

As discrepâncias dos valores das concentrações nas verticais são pequenas, em média afastam-se 3,5% da concentração média da seção. A vertical 1 apresenta os menores valores de velocidade e concentração.

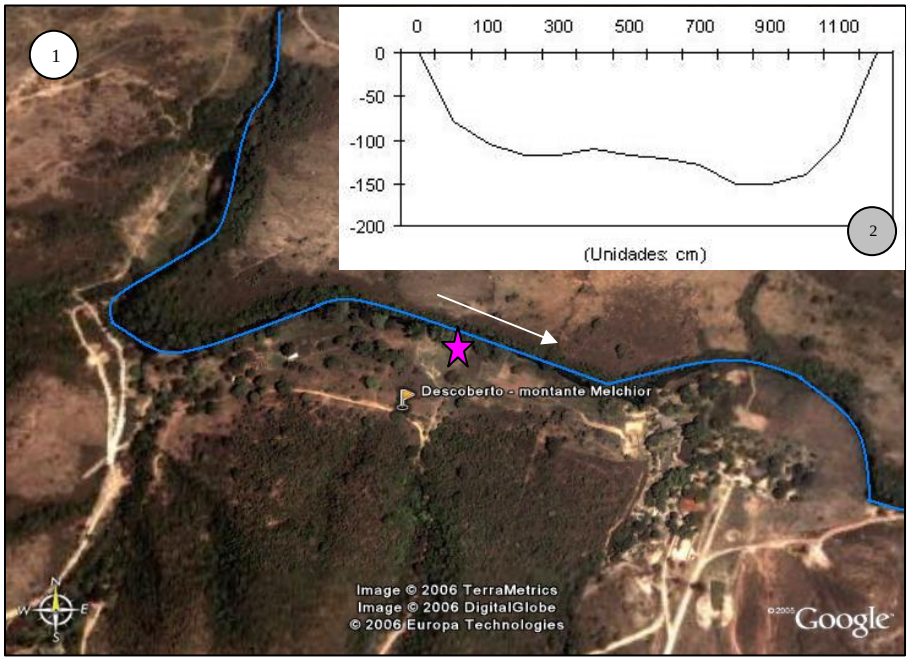

Figura 7.9 – Gráficos para a análise do comportamento da seção do rio Descoberto – Montante Melchior: 1 – Imagem de satélite mostrando em destaque a morfologia do rio nas proximidades da estação fluviométrica e o sentido do fluxo; 2 – perfil da seção transversal do rio na estação fluviométrica.

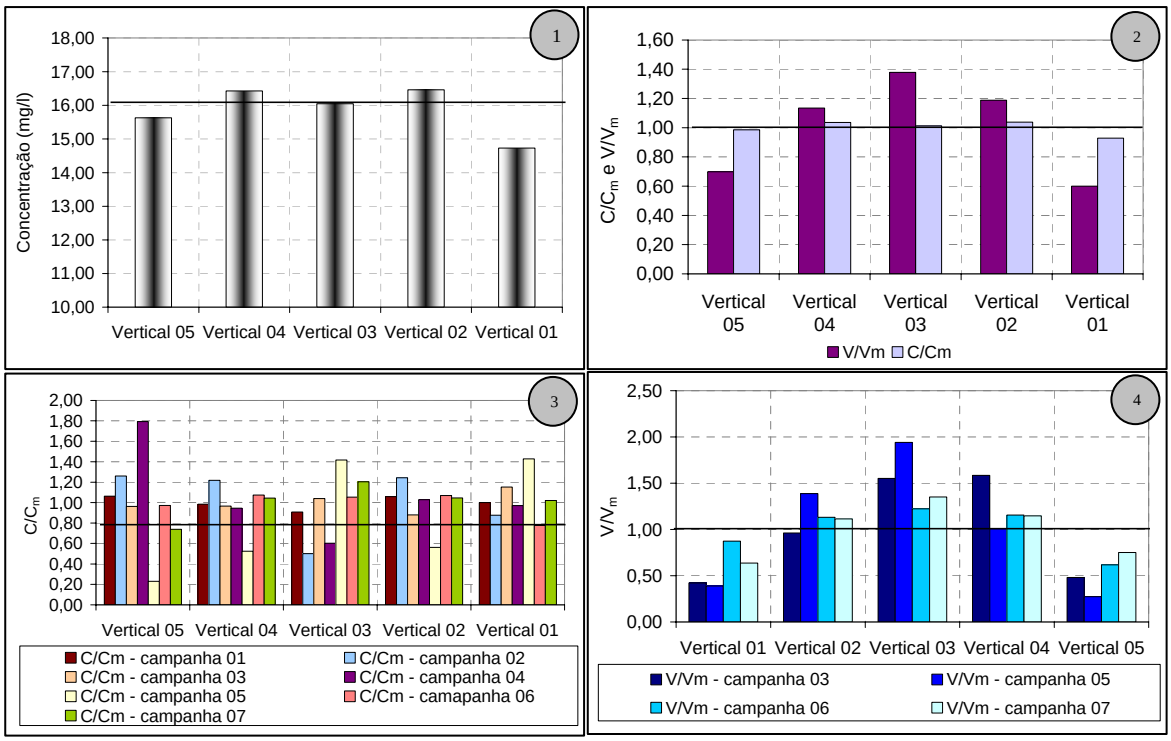

Figura 7.10 – Gráficos para a análise do comportamento da seção rio Descoberto – Montante melchior: 1 – Variação da concentração média ao longo da seção; 2 – relação entre as concentrações médias nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) e entre as velocidade médias nas verticais (V) e a velocidade média na seção (Vm); 3 – relação entre as concentrações nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) por campanha realizada; 4 – relação entre as velocidades nas verticais (V) e a velocidade média da seção (Vm) por campanha realizada.

A concentração na vertical 05, campanha 04 (Figura 7.10-3) afastou-se consideravelmente da concentração média para a seção. A ocorrência de valor tão mais elevado nessa vertical pode ter sido causada por erro, como coleta acidental de material próximo ao fundo ou pode tratar-se de um comportamento natural da seção, o que não pode ser esclarecido somente com as informações disponíveis.

7.1.6 - Rio Descoberto – Sete curvas

A partir da análise da Figura 7.11-1, percebe-se que o trecho do rio onde se encontra a estação fluviométrica do rio Descoberto – Sete Curvas é razoavelmente retilíneo. Entretanto, a partir da análise da Figura 7.12-2, percebe-se que distribuição das velocidades nas verticais não é uniforme, sendo que na vertical 5 (direita) as velocidades são praticamente nulas.

Os valores das concentrações para as verticais são bastante uniformes, afastando-se da concentração da seção em torno de 10%, com exceção da vertical da direita (vertical 5), onde encontram-se as maiores discrepâncias. Essa vertical obteve os maiores valores de concentração de sedimentos durante as campanhas (Figura 7.12-3).

Verifica-se, portanto, nessa seção, uma grande incoerência relacionada à correlação entre os valores das velocidades nas verticais e as concentrações, observadas na vertical 05, próxima à margem direita. As velocidades do fluxo se aproximam de zero nesse local devido à existência de uma reentrância no talude da margem, e dessa forma os volumes de amostragem nessa vertical foram proporcionalmente muito pequenos, sendo que algumas vezes era necessário coletar mais de uma amostra idêntica para obter-se um volume considerável que permitisse a análise da amostra no laboratório (Figura 7.12-3).

Em amostras muito pequenas as chances de ocorrerem erros nas análises são amplificadas, pois pequenas alterações nos valores das massas ou volumes podem representar um valor considerável no cálculo da concentração.

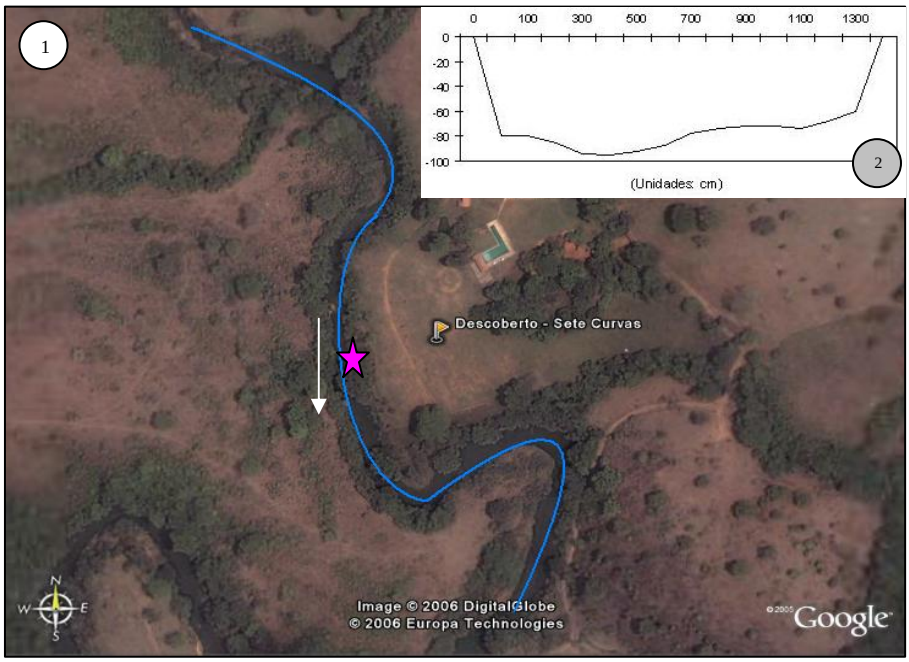

Figura 7.11 – Gráficos para a análise do comportamento da seção do rio Descoberto – Sete curvas: 1 – Imagem de satélite mostrando em destaque a morfologia do rio nas proximidades da estação fluviométrica e o sentido do fluxo; 2 – perfil da seção transversal do rio na estação fluviométrica.

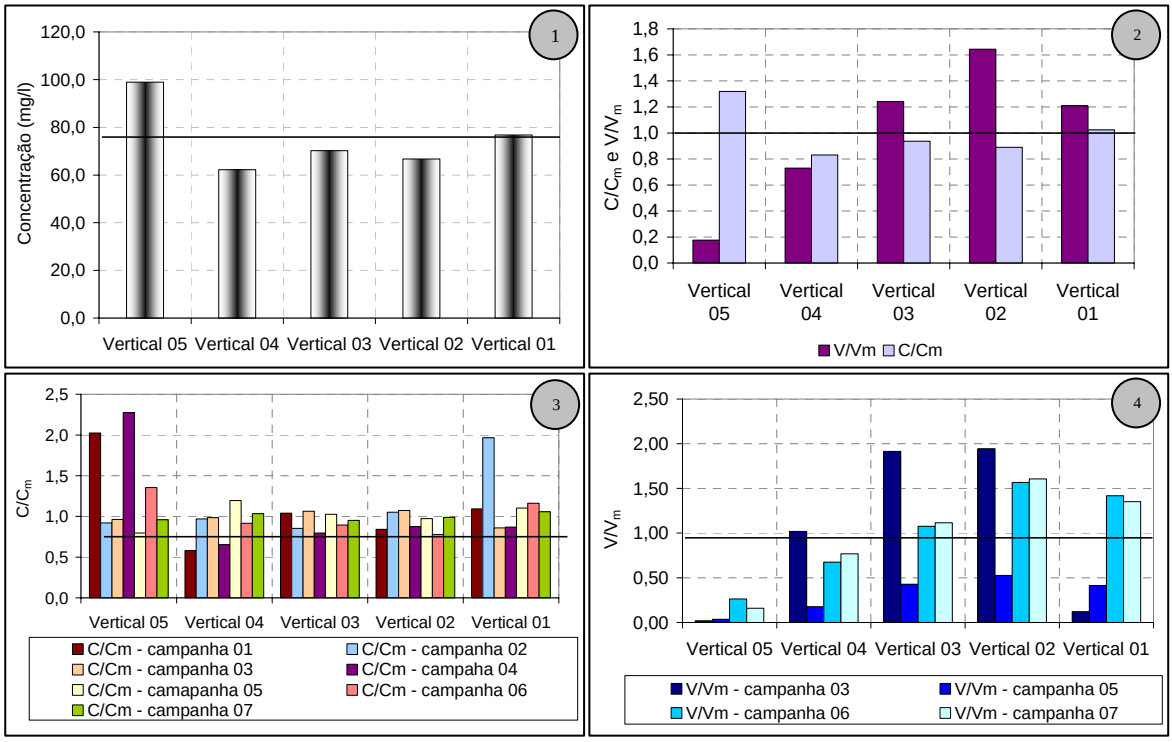

Figura 7.12 – Gráficos para a análise do comportamento da seção rio Descoberto – Sete curvas: 1 – Variação da concentração média ao longo da seção: 2 – relação entre as concentrações médias nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) e entre as velocidade médias nas verticais (V) e a velocidade média na seção (Vm); 3 – relação entre as concentrações nas verticais (C) e a concentração média da seção (Cm) por campanha realizada; 4 – relação entre as velocidades nas verticais (V) e a velocidade média da seção (Vm) por campanha realizada.

7.2 - A REPRESENTATIVIDADE DA DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO MÉDIA DA SEÇÃO A PARTIR DE UMA ÚNICA AMOSTRA COLETADA NA MARGEM

Os resultados obtidos para os valores das concentrações de sedimentos em suspensão das amostras coletadas às margens, foram analisados com relação aos valores médios obtidos pelo método do IIL, como ilustra a Figura 7.13.

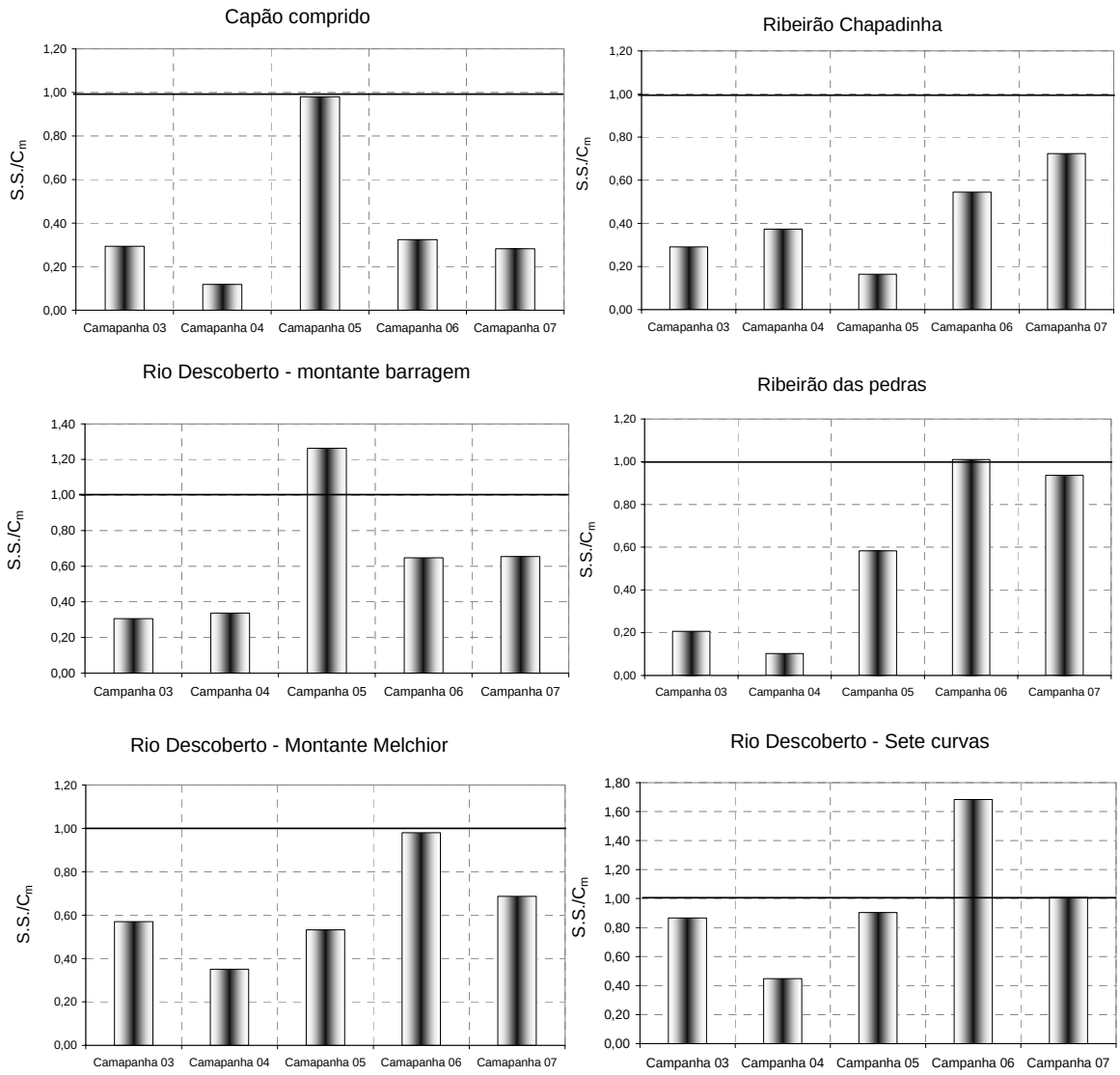

Figura 7.13 – Gráficos de barras para as seções representando as relações entre as concentrações das amostras únicas coletadas às margens – S.S. e a concentração média obtida pelo método do IIL – Igual Incremento de Largura.

A relação S.S. (sólidos em suspensão, coletado à margem) e Cmédia (concentração média entre as verticais) variou bastante nas seções para cada uma das campanhas e sua representatividade com relação ao valor médio da concentração variou de 0,18, obtido na

campanha 04 do Capão Comprido até 1,68, obtido na campanha 06, no rio Descoberto – Sete Curvas. Mas no geral os valores obtidos para as concentrações de sólidos em suspensão foram bem menores do que os valores de concentração na seção.

Lima *et al.* (2005), a partir de amostragens pontuais realizadas, observa que as concentrações aumentam com a profundidade, e que medições da concentração na seção baseadas em amostras coletadas próximas a superfície levam a subestimação do valor de concentração da seção, o que poderia explicar parcialmente a discrepância encontrada entre os valores.

Às margens as velocidades são próximas de zero e não são capazes de manter grandes concentrações de sedimentos em suspensão. Nessas situações encontradas às margens, o sedimento possui uma maior tendência à sedimentação e a acumular-se no fundo. Portanto, como a coleta para análise de sólidos em suspensão é uma amostra pontual realizada próximo à superfície, é a tendência natural que as concentrações obtidas nessas condições tendem a serem menores do que os valores obtidos em outros pontos da seção, sendo portanto também bastante inferiores à concentração média da seção.

Na campanha 6 da seção do rio Descoberto – Sete curvas, obteve-se a maior relação S.S./Cmédio, consistindo no maior valor de concentração registrado em todo este trabalho (422,00 mg/L), foi obtido em uma amostra coletada às margens existe a suspeita de que a ocorrência de valor tão elevado se deu devido à movimentação do barco próximo à margem, inclusive no momento da coleta, resuspendendo material sedimentado e alterando a confiabilidade da amostra. Na campanha subseqüente foi tomado o cuidado de coletar essa amostra a uma distância considerável da turbulência causada pelo barco, tentando preservar as características originais da amostra.

Os valores obtidos para as concentrações de sólidos em suspensão (S.S.) foram plotados contra os valores de concentração média para o ajuste de uma curva, de forma a permitir a avaliação da correlação entre esses valores, caso ela existisse. O procedimento foi adotado para cada uma das seções e as curvas obtidas estão representadas na Figura 7.14.

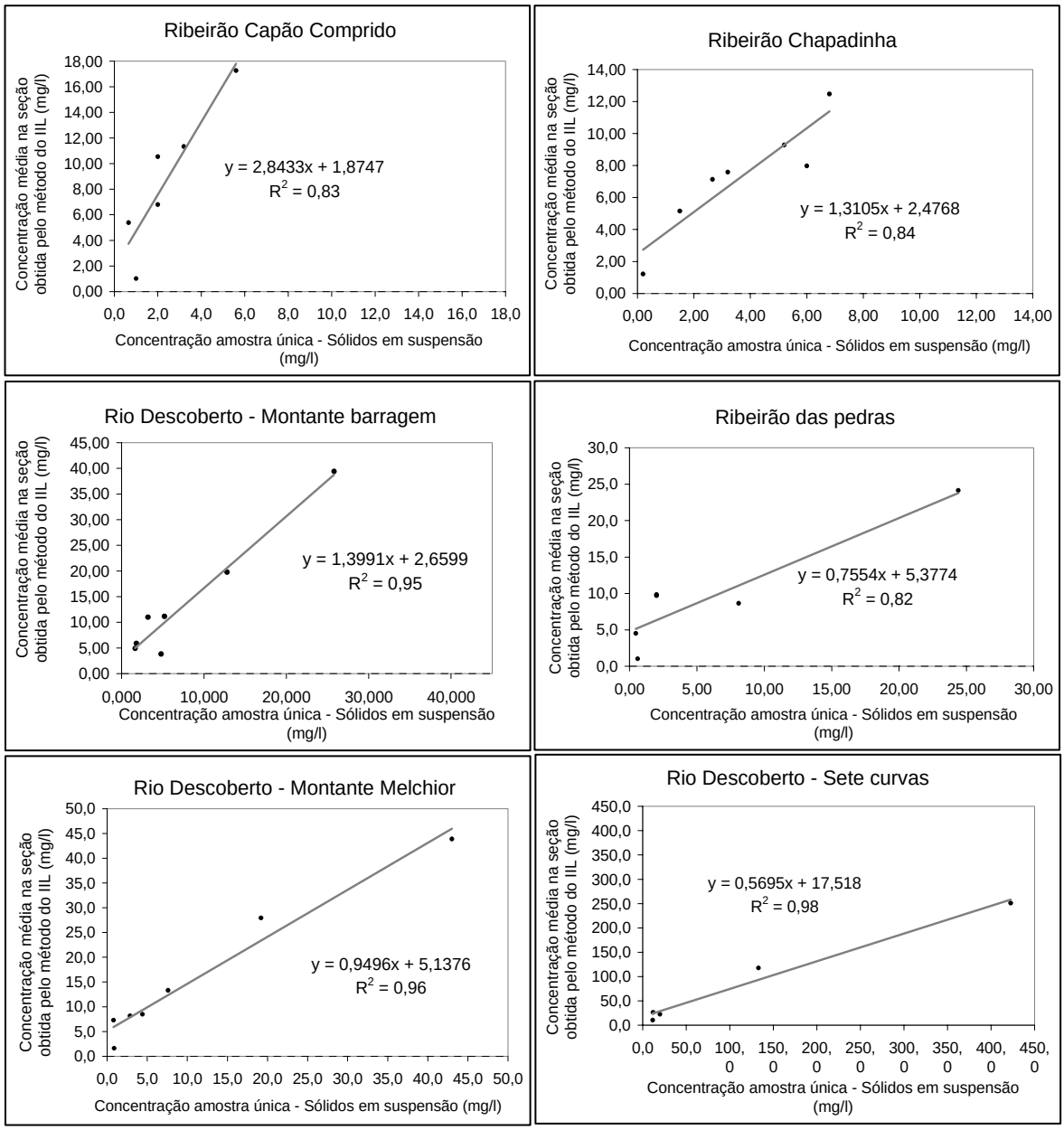

Figura 7.14 – Relação entre as concentrações de sedimentos em suspensão nas amostras únicas coletadas às margens – S.S. e a concentração de sedimentos em suspensão média obtida pelo método do IIL – Igual Incremento de Largura.

A análise das curvas obtidas permite verificar que existe uma tendência entre os pontos a estarem correlacionados, portanto, mesmo incipientes, as curvas obtidas demonstram que a correlação possivelmente existe. Entretanto, seria necessário maior número de pontos, em intervalos mais variados, definindo as curvas e seus intervalos de aplicação, que devem ser constantemente avaliados, antes de recomendar o uso das equações apresentadas na Figura 7.14. Isso significaria mais praticidade e menores custos relacionados ao monitoramento hidrossedimentométrico da bacia.

7.3 - AS CURVAS-CHAVE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

A partir das campanhas de campo realizadas de junho/2005 a fevereiro/2006, as amostras coletadas com o amostrador USDH-59 pelo método do Igual Incremento de Largura - IIL e analisadas pelo método da filtração, obteve-se valores médios para a descarga sólida em suspensão nas seções em cada campanha, que foram correlacionados com os respectivos valores de vazão (m^3/s) em uma curva, de onde foram obtidas as equações da curvas-chave de sedimentos em suspensão para as seções (Figura 7.15).

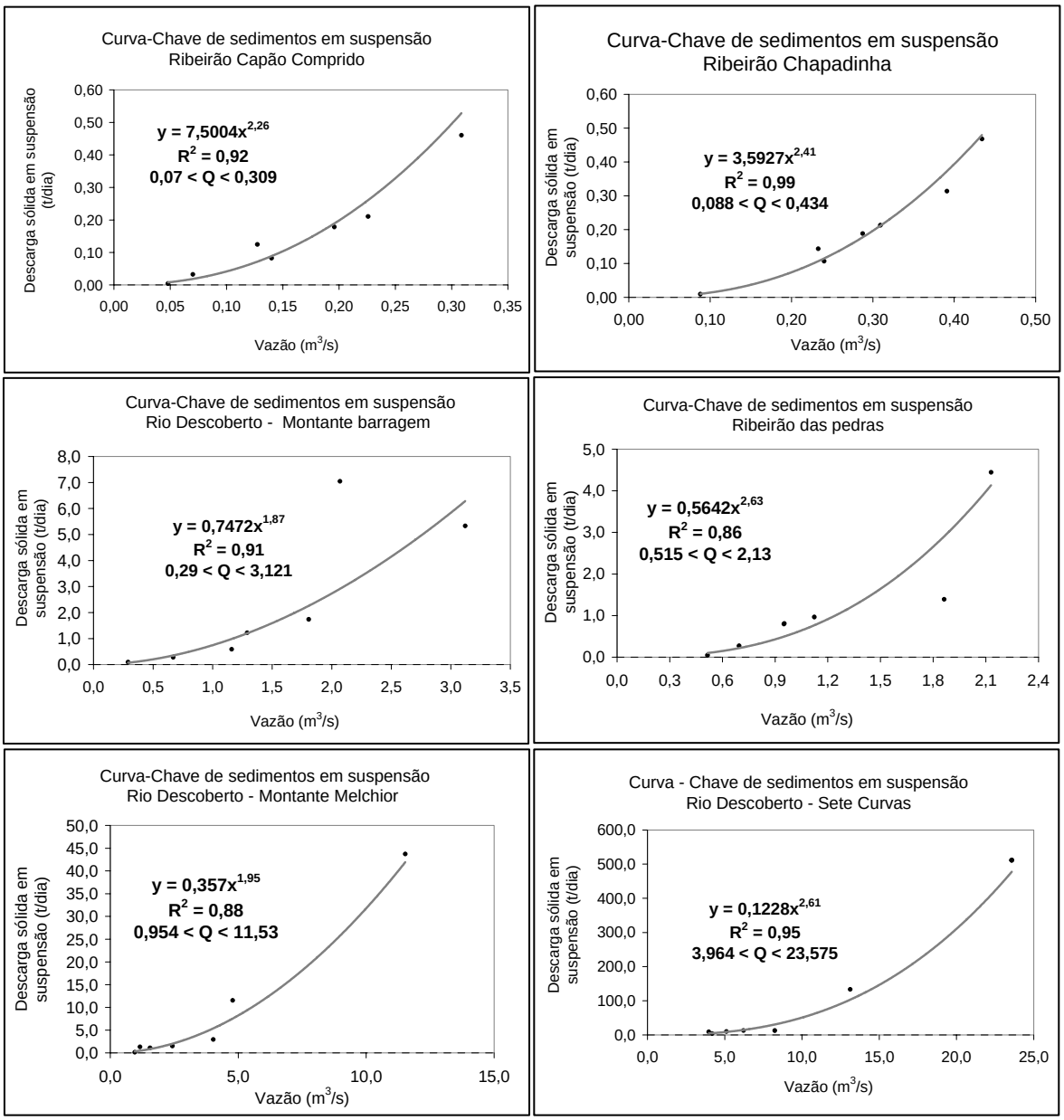

Figura 7.15 – Curvas-chave de sedimentos em suspensão nas estações: Capão Comprido, ribeirão Chapadinha, rio Descoberto- montante barragem, ribeirão das Pedras, rio Descoberto – Montante Melchior e rio Descoberto – Sete curvas.

O aspecto das curvas para a descarga total de sedimentos é bastante semelhante ao aspecto das curvas-chave de sedimentos em suspensão para cada seção, pois no método simplificado de Colby, os valores da descarga sólida em suspensão são utilizados para estimar a descarga total (Figura 7.16).

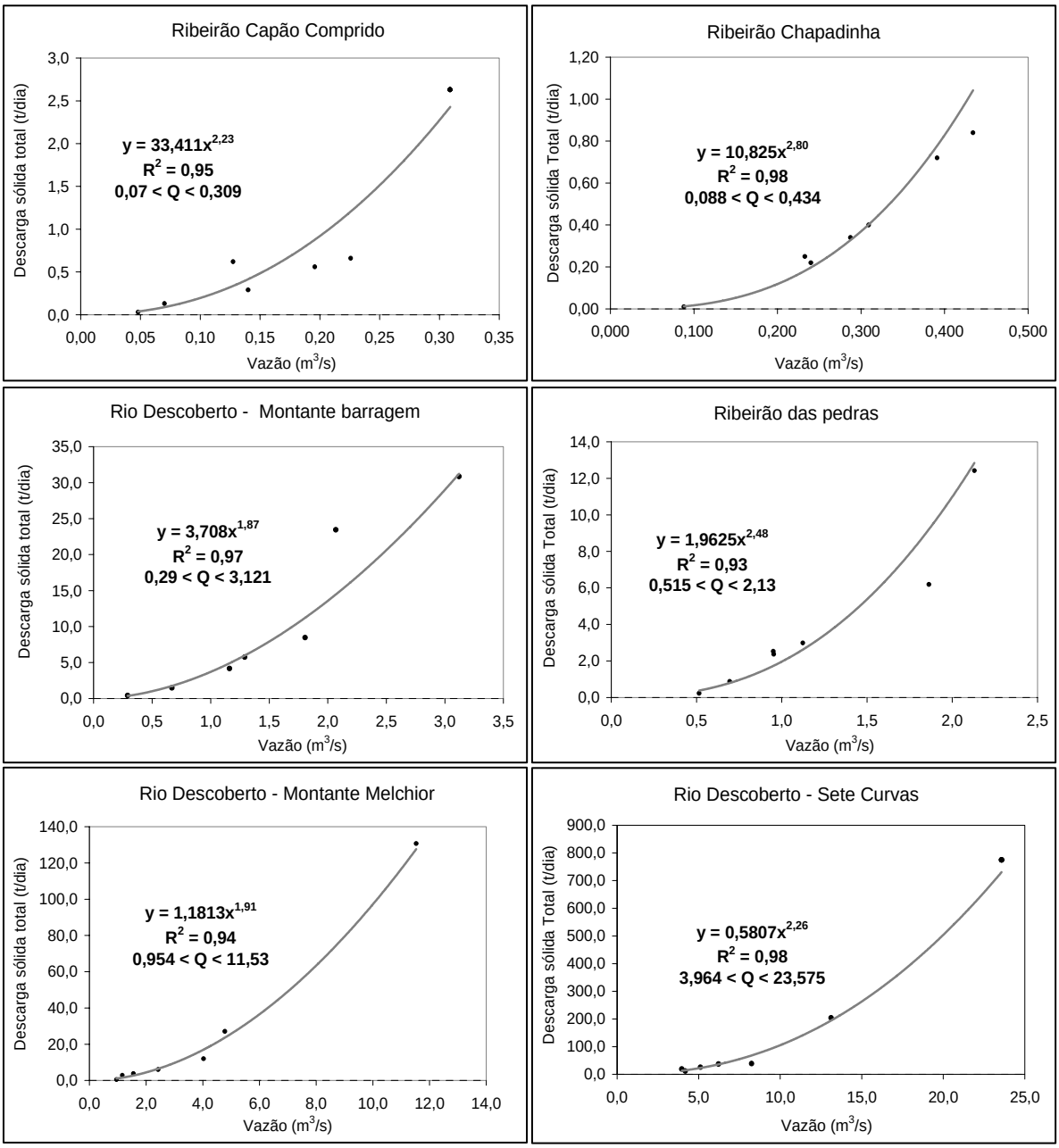

Figura 7.16 – Curvas-chave da descarga sólida total nas estações: Capão Comprido, ribeirão Chapadinha, rio Descoberto- montante barragem, ribeirão das Pedras, rio Descoberto – Montante Melchior e rio Descoberto – Sete curvas.

As vazões máximas ocorridas nas seções durante as coletas de amostras foram de 0,31 m^3/s (Q_{45}) na estação do ribeirão Capão comprido; 0,434 m^3/s (Q_{44}) na estação do ribeirão Chapadinha; 3,121 m^3/s (Q_{20}) na estação do Descoberto – Montante barragem; 2,13 m^3/s

(Q_{23}) na estação do ribeirão das Pedras; 11,53 m^3/s (Q_{11}) na estação Descoberto – Montante Melchior e 23,58 m^3/s (Q_{25}), na estação Descoberto – Sete curvas.

As curvas de permanência de vazões para as estações monitoradas estão apresentadas na Figura 7.17. A curva de permanência relaciona a vazão e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada e foram confeccionadas estabelecendo-se intervalos de classes de vazões de acordo com a magnitude dos eventos (Silva, 2003).

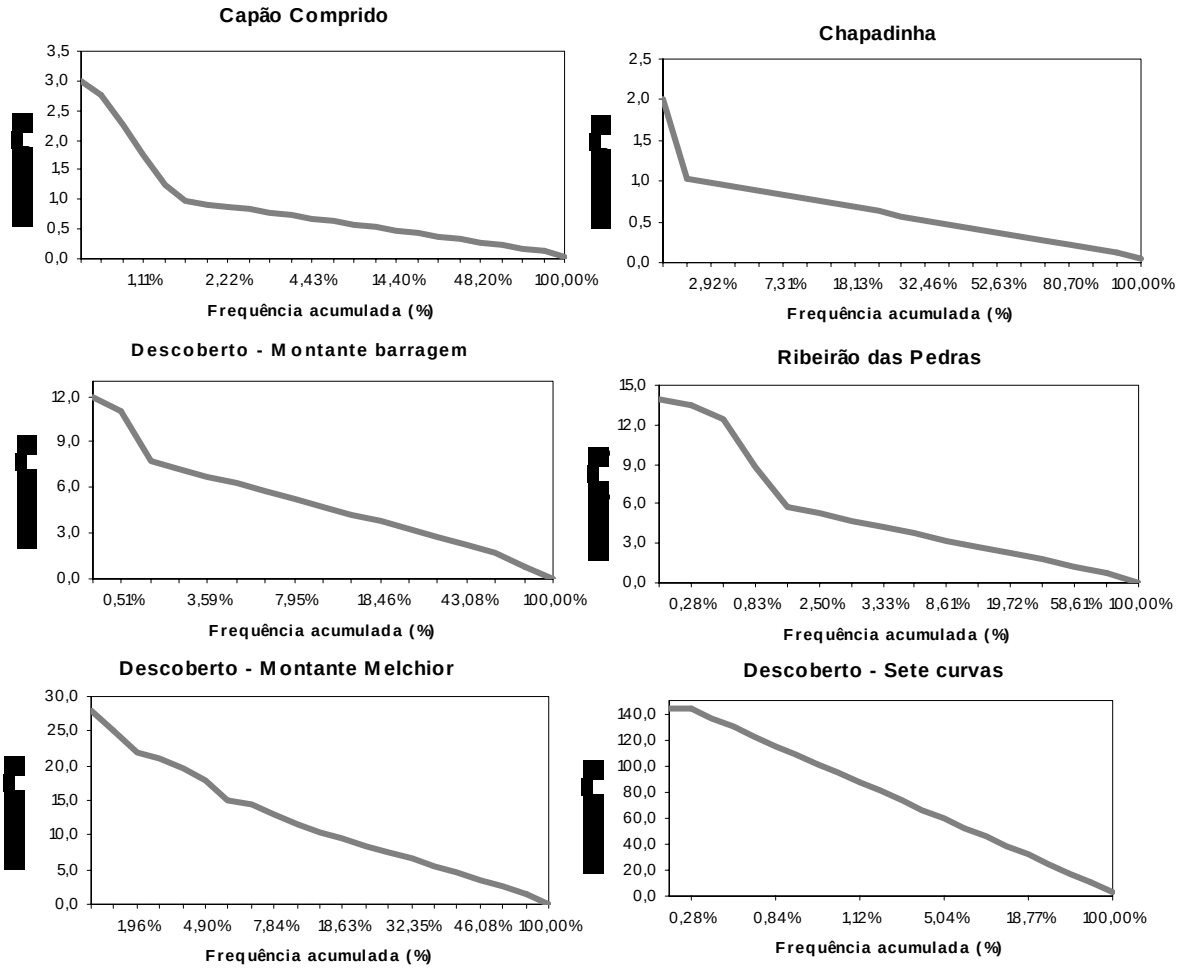

Figura 7.17 – Curvas de permanência de vazões para as estações: Capão Comprido, ribeirão Chapadinha, rio Descoberto- montante barragem, ribeirão das Pedras, rio Descoberto – Montante Melchior e rio Descoberto – Sete curvas.

As curvas de permanência de todas as seções monitoradas, com exceção da estação Descoberto – Sete curvas, foram elaboradas a partir de valores obtidos em medições de vazão realizadas pela CAESB, de 1979 a 2005. As medições de vazão no Descoberto – Sete curvas ocorrem somente a partir do ano de 2004, por isso foram usadas as vazões

médias diárias desse ano para a confecção de sua curva de permanência de vazões, determinadas a partir de sua curva-chave de vazão.

As curvas-chave de sedimentos em suspensão elaboradas apresentam uma série de limitações quanto à sua aplicação. Algumas delas são intrínsecas ao método, como o fato da curva correlacionar o transporte de sedimentos unicamente à vazão, sendo que na verdade ele depende de vários outros fatores, tais como a disponibilidade de material mobilizado, ocorrências anteriores de eventos, usos do solo, etc. Existe também a possibilidade da existência de curvas-chaves distintas para uma mesma seção durante os períodos de seca e ocorrências de cheia, e também a existência de curvas-chaves distintas para os diferentes períodos nos quais as curvas foram aplicadas, assumindo-se que a curva não é estacionária, considerando as alterações climáticas e as alterações ocorridas nos usos do solo.

Entretanto, essas curvas apresentam outras restrições adicionais que foram provocadas pelas limitações encontradas nesse estudo em particular:

- As curvas-chave apresentadas foram obtidas a partir de coletas de dados durante um período de nove meses (junho a fevereiro), não cobrindo os outros três meses do ano (março, abril e maio), que seriam de essencial importância para o estudo, considerando que no ano de 2006 ocorreu maior volume de chuvas nos meses de março a abril. O monitoramento do transporte de sedimentos em suspensão neste período poderia trazer dados de relevância ao estudo, maior confiabilidade na aplicação das equações obtidas e podendo conferir às curvas outras características e valores distintos para os coeficientes “a” e “b”, que são os coeficientes da equação de potência da curva-chave de sedimentos ($DSS=a.Q^b$);
- As curvas têm carência de pontos medidos a altas vazões devido às dificuldades encontradas para realizar as coletas durante as cheias no período dos trabalhos de campo, pois no período da realização das campanhas não choveu como se esperava, ocorrendo um veranico no mês janeiro e chuvas de baixa intensidade e duração, no mês de fevereiro. Por esse motivo, as curvas apresentam baixos valores para os coeficientes “a” e “b” em comparação ao que seria obtido caso elas cobrissem um intervalo maior de vazões, incluindo amostragens a altas vazões. Isso ocorreria porque a altas vazões a relação entre a vazão e a descarga de sedimentos se altera, o que é refletido no ajuste da curva, que é mais inclinada esse trecho, levando às vezes ao ajuste de duas curvas-chaves distintas. Esse

fenômeno é explicado com detalhes ao longo deste item ao discutir o efeito da histerese nas curvas-chave de sedimentos. Dessa forma, a elaboração das curvas utilizando-se vazões baixas, ou com carência de altas vazões, levará à sub-estimativa das descargas na aplicação das curvas.

- Em conseqüência do fato anterior, a aplicação das curvas-chave de sedimentos ocorreu com grande extrapolação de seus limites de aplicação para os dados diários de vazões pertencentes ao banco de dados da CAESB e do Projeto do Descoberto (UnB/FINATEC), como apresenta a Tabela 7.1, o que leva a erros. Córdova e González (1997) explicam que a extrapolação cria grandes possibilidades de erros na região mais importante da curva, que é a sua parte alta. Além disso, há limitações físicas que a extrapolação não pode expressar, como a disponibilidade de volumes de sedimento a serem carreados. A forma de eliminar esse erro é conseguindo medições para a parte alta da curva, e conhecendo dessa forma, o real comportamento das seções nessas situações.

As curvas-chaves apresentaram de uma forma geral um bom ajuste, sendo que o índice de determinação mínimo obtido foi de 0,86 para o Ribeirão das Pedras, e sendo que a curva do ribeirão Chapadinha obteve o índice de determinação de 0,99, sendo o mais elevado. Entretanto, o bom ajuste observado para as curvas, não reflete, na verdade, a sua confiabilidade, principalmente quando as curvas apresentam pequeno número de pontos, sendo eles pouco espaçados.

O elevado ajuste encontrado pode ser explicado no fato de que as baixas vazões foram predominantes na determinação dos pontos da curva, e a dispersão tende a aumentar com a elevação das vazões, é quando ocorre normalmente o efeito da histerese. Portanto, fora da ocorrência de cheias, a relação descrita pela curva tende a se aproximar mais de uma relação biunívoca, o que pode não ocorrer a altas vazões, levando a uma maior dispersão dos dados.

O ponto fora da curva na Figura 7.15, na seção do rio Descoberto – montante barragem pode refletir uma situação de histerese, caso não seja produto de erro inerente ao procedimento. A coleta da amostra nesse ponto ocorreu durante a fase ascendente da hidrógrafa, quando foi observada a elevação da cota do rio, e a amostra foi coletada enquanto a cheia e a precipitação ainda ocorriam. Portanto havia, nessa situação, o fornecimento de material mobilizado das encostas proveniente do escoamento superficial,

elevando a concentração de sedimentos em suspensão para valores superiores aos observados em vazões ocorridas durante a não-ocorência de eventos.

Tabela 7.1– Relação das curvas-chave em suspensão e total e seus respectivos R^2 e os limites de aplicação.

Capão Comprido				
Curva-chave		R^2	Limites de aplicação	Limites aplicados (extrapolação)
Descarga sólida em suspensão (t/dia)	$Q_{SS} = 7{,}5004Q^{2{,}26}$	0,92	0,07 < Q < 0,309	0,007 < Q < 2,18
Descarga sólida total (t/dia)	$Q_{ST} = 33{,}411Q^{2{,}23}$	0,95		
Chapadinha				
Curva-chave		R^2	Limites de aplicação	Limites aplicados (extrapolação)
Descarga sólida em suspensão (t/dia)	$Q_{SS} = 3{,}5927Q^{2{,}41}$	0,99	0,088 < Q < 0,434	0,002 < Q < 2,04
Descarga sólida total (t/dia)	$Q_{ST} = 10{,}825Q^{2{,}8}$	0,98		
Descoberto – montante barragem				
Curva-chave		R^2	Limites de aplicação	Limites aplicados (extrapolação)
Descarga sólida em suspensão (t/dia)	$Q_{SS} = 0{,}7472Q^{1{,}87}$	0,91	0,29 < Q < 3,121	0,151 < Q < 37,5
Descarga sólida total (t/dia)	$Q_{ST} = 3{,}708Q^{1{,}87}$	0,97		
Ribeirão das Pedras				
Curva-chave		R^2	Limites de aplicação	Limites aplicados (extrapolação)
Descarga sólida em suspensão (t/dia)	$Q_{SS} = 0{,}5642Q^{2{,}63}$	0,86	0,515 < Q < 2,13	0,31 < Q < 13,6
Descarga sólida total (t/dia)	$Q_{ST} = 1{,}9625Q^{2{,}48}$	0,93		
Descoberto – montante Melchior				
Curva-chave		R^2	Limites de aplicação	Limites aplicados (extrapolação)
Descarga sólida em suspensão (t/dia)	$Q_{SS} = 0{,}357Q^{1{,}95}$	0,88	0,954 < Q < 11,53	1,094 < Q < 31,608
Descarga sólida total (t/dia)	$Q_{ST} = 1{,}1813Q^{1{,}91}$	0,94		
Descoberto – sete curvas				
Curva-chave		R^2	Limites de aplicação	Limites aplicados (extrapolação)
Descarga sólida em suspensão (t/dia)	$Q_{SS} = 0{,}1228Q^{2{,}61}$	0,95	3,964 < Q < 23,575	3,701 < Q < 125,31
Descarga sólida total (t/dia)	$Q_{ST} = 1{,}5807Q^{2{,}26}$	0,98		

As sub-bacias do Capão Comprido e do ribeirão Chapadinha apresentam os valores mais elevados para ambos os coeficientes das curvas apresentadas, sendo elas as curvas mais inclinadas. Segundo Asselman (2000), as curvas inclinadas são características de seções onde baixas vazões acarretam pequenos transportes de sedimentos em suspensão, e um aumento na vazão acarreta em grande incremento nas concentrações de sedimentos. Como se tratam de bacias pequenas, sendo elas as menores entre as bacias analisadas, elas

possuem a característica de apresentarem uma resposta mais rápida quanto ao transporte de sedimentos a pequenos incrementos de vazão, devido à disponibilização de importantes fontes de material com a elevação no nível d'água.

7.4 - O ESTUDO REALIZADO PELA CAESB EM 1989

A partir dos dados do estudo realizado pela CAESB/CNEC em 1989 foi possível obter-se uma curva-chave de sedimentos para o ribeirão Rodeador (Figura 7.18), que é um importante tributário do reservatório do Descoberto que não foi monitorado neste estudo. Foi possível obter-se, portanto, os dados do Rodeador que foram utilizados no cálculo da previsão do assoreamento no reservatório, juntamente com os dados das demais bacias que foram levantados neste estudo.

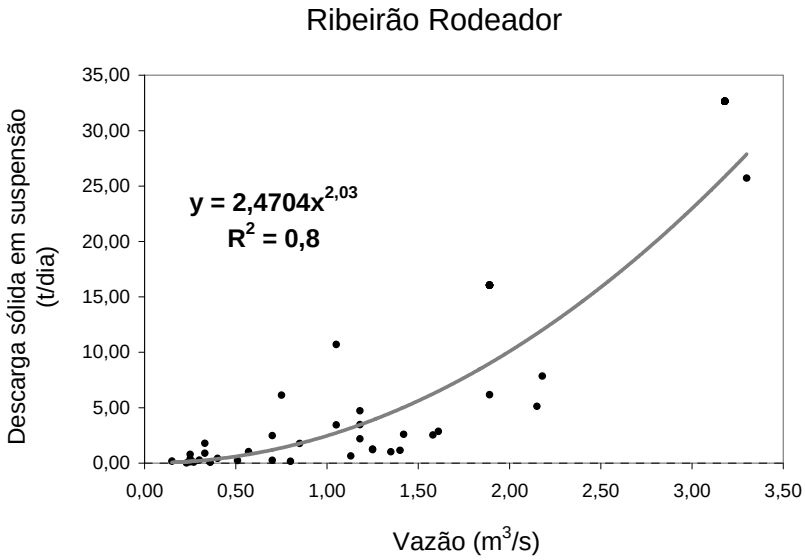

Figura 7.18 – Curva-chave de sedimentos em suspensão do ribeirão Rodeador, levantada pela CNEC-1989.

As curvas-chave de sedimentos elaboradas a partir dos dados obtidos pelo estudo da CNEC em 1989, ao serem comparadas às curvas-chave de sedimento atuais, permitiram verificar a evolução ou redução dos níveis de degradação das bacias do ribeirão das Pedras e do rio Descoberto – montante barragem (Figura 7.19).

Para a seção do Descoberto, verifica-se na curva CNEC-1989 uma alta dispersão, com coeficiente de determinação (r^2) de 0,57. A análise visual permite verificar que até mesmo a curva de 2005 poderia ser ajustada para os pontos obtidos em 1989. Observa-se que a

diferença entre as duas curvas é bastante pequena, e pode-se supor que não ocorreram grandes alterações nessa bacia de 1989 a 2005 além do aumento da ocupação urbana, pois mesmo atualmente trata-se de uma sub-bacia do Descoberto ainda pouco urbanizada, de acordo com Carmo (2001).

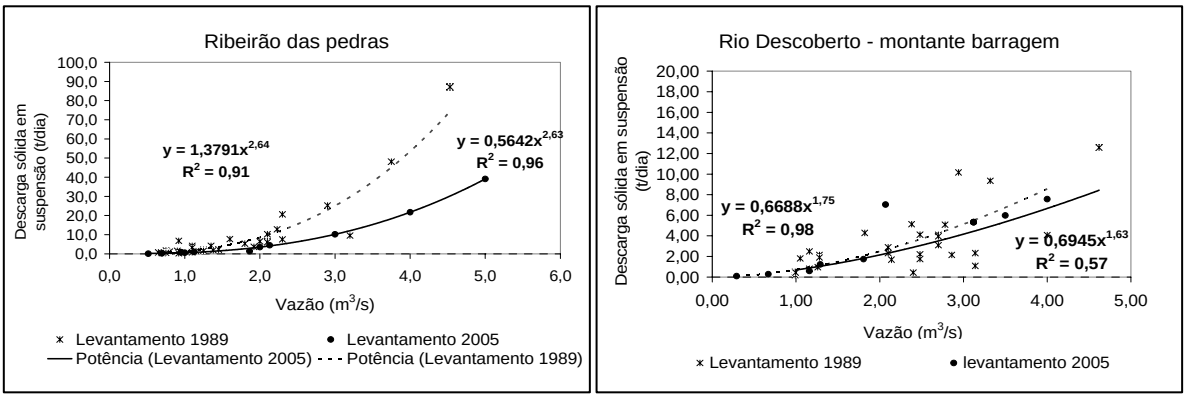

Figura 7.19 – Comparação entre as curvas-chave de sedimentos obtidas nos levantamentos de 1989 e de 2005 para as seções do ribeirão das Pedras e rio Descoberto – montante barragem.

Já o mesmo não foi observado para o ribeirão das Pedras, que apresentou nesse intervalo de 16 anos uma visível redução em seu nível de degradação. A redução do coeficiente "a" de 1,38 (em 1989) para 0,56 (em 2005) demonstra que houve redução na disponibilidade de material mobilizado no decorrer desses anos. Pois segundo Peters-Kummerly (1973) e Morgan (1995) *apud* Asselman (2000), o coeficiente "a" na equação da curva-chave representa a erodibilidade do solo, enquanto o coeficiente "b" representa o poder erosivo do rio.

Buscou-se informações sobre possíveis alterações ocorridas na bacia do ribeirão das Pedras nos últimos anos que pudesse fornecer hipóteses que auxiliassem na compreensão dessa redução observada no nível de degradação da bacia, e uma das grandes alterações sofridas pela bacia foi a correção de uma voçoroca, na cidade satélite da Ceilândia, junto à margem direita da BR-070, que em 2000 apresentava extensão aproximada de 1.500 m, com largura variando de 3 a 20 m e com profundidade em torno de 20m, como mostra a Figura 7.20. A voçoroca se localizava dentro da sub-bacia do córrego Currais, afluente do ribeirão das Pedras e por um determinado período essa região da bacia contribui para o assoreamento do reservatório do Descoberto (Lima, 2003).

Não foi possível encontrar informações acerca da situação dessa voçoroca no ano de 1989, ano em que foram obtidos os dados para a elaboração da curva-chave de sedimentos em suspensão do ribeirão das Pedras. Mas considerando-se as dimensões dos danos provocados pela erosão nessa sub-bacia, percebe-se que trata-se de uma área suscetível a problemas erosivos devido a suas características naturais (geotécnicas, geológicas e geomorfológicas) aliadas à ocupação desordenada do solo, tanto no meio urbano como rural (Lima, 2003).

Figura 7.20 – Voçoroca na Ceilândia em 2000, na bacia do descoberto e sob-bacia do ribeirão das Pedras (Lima, 2003).

Essa voçoroca foi recuperada em 2001, reduzindo bruscamente o fornecimento de grandes volumes de material mobilizado que estava sendo introduzido na rede de drenagem até então (Lima, 2003).

7.5 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A APLICAÇÃO DAS CURVAS-CHAVE DE SEDIMENTOS

A aplicação das curvas-chave de sedimento converteu as séries de vazão em descargas de sedimentos em suspensão, fornecendo os valores diários de descarga sólida em suspensão e total.

A Tabela 7.2 apresenta as médias mensais para a descarga sólida em suspensão e vazões, obtidos em cada estação para o período de 1995 a 2005 e a Tabela 7.3 apresenta as médias

para as seções, considerando os valores de vazão e descarga sólida em suspensão e deflúvios médios (líquido e sólido).

Tabela 7.2– Médias históricas mensais para o período 1995 a 2005

ESTAÇÕES	VAZÃO E DSS	Jan	Fev	Março	Abril	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ribeirão Capão Comprido	Vazão (m^3/s)	0,506	0,504	0,537	0,451	0,318	0,261	0,209	0,165	0,131	0,131	0,293	0,357
	DSS (t/dia)	2,537	2,470	2,861	1,561	0,704	0,451	0,263	0,149	0,095	0,227	0,966	1,441
Ribeirão Chapadinha	Vazão (m^3/s)	0,580	0,572	0,649	0,579	0,417	0,306	0,223	0,176	0,163	0,165	0,336	0,433
	DSS (t/dia)	1,509	1,301	1,675	1,176	0,527	0,247	0,128	0,079	0,096	0,170	0,542	0,879
Rio Descoberto - montante barragem	Vazão (m^3/s)	3,144	3,106	3,429	2,775	1,891	1,414	1,043	0,748	0,643	0,651	1,662	2,250
	DSS (t/dia)	6,080	6,979	6,624	4,552	2,195	1,312	0,775	0,441	0,351	0,402	2,243	3,553
Ribeirão das Pedras	Vazão (m^3/s)	2,184	2,223	2,720	1,898	1,269	0,993	0,834	0,739	0,718	0,839	1,553	1,910
	DSS (t/dia)	8,818	10,678	16,282	4,477	1,362	0,640	0,406	0,317	0,356	1,103	4,375	6,584
Rio Descoberto - montante Melchior	Vazão (m^3/s)	5,500	2,680	13,527	10,376	5,472	3,515	2,511	2,016	1,942	1,828	1,651	2,168
	DSS (t/dia)	16,191	3,269	80,043	44,117	11,061	4,355	2,258	1,527	1,539	1,627	1,474	2,961
Rio Descoberto - Sete Curvas	Vazão (m^3/s)	17,203	22,683	35,425	24,676	11,135	7,416	5,893	5,111	4,698	6,206	7,217	6,379
	DSS (t/dia)	437,192	2.320,586	2.670,318	881,047	76,366	25,651	13,122	9,665	7,950	92,526	36,575	60,571

Tabela 7.3– Valores médios para vazão e descarga sólida em suspensão e deflúvios médios (líquido e sólido) para as estações.

ESTAÇÕES	Vazão média 1995 a 2005 (m^3/s)	Deflúvio líquido médio - 1995 a 2005 (m^3/ano)	DSS média - 1995 a 2005 (t/dia)	Deflúvio sólido médio em suspensão - 1995 a 2005 (t/ano)	DTS média - 1995 a 2005 (t/dia)	Deflúvio sólido médio total - 1995 a 2005 (t/ano)
Ribeirão Capão Comprido	0,32	10.017.850,16	1,14	411,72	4,68	1.684,91
Ribeirão Chapadinha	0,38	11.919.469,09	0,69	249,87	2,00	721,42
Rio Descoberto - montante barragem	1,90	58.981.402,48	3,91	1.407,43	22,10	7.957,05
Ribeirão das Pedras	1,490	46.345.198,59	4,62	1.661,95	12,07	4.344,12
Ribeirão das Pedras - CAESB	1,49	46.345.198,59	11,46	4.124,07	17,51	6.304,69
Ribeirão Rodeador - CAESB	1,44	44.695.003,51	13,64	4.910,00	18,46	6.644,52
Rio Descoberto - montante Melchior	4,432	137.855.103,42	14,202	5.112,70	37,53	13.509,75
Rio Descoberto - Sete Curvas	14,73	458.289.138,46	755,43	271.954,73	1.068,53	384.671,05

Os valores apresentados na Tabela 7.2 são representados nos gráficos da Figura 7.21, onde é possível visualizar a variação dos valores de descarga de sedimentos em suspensão no decorrer dos meses, assim como da vazão e compará-los.

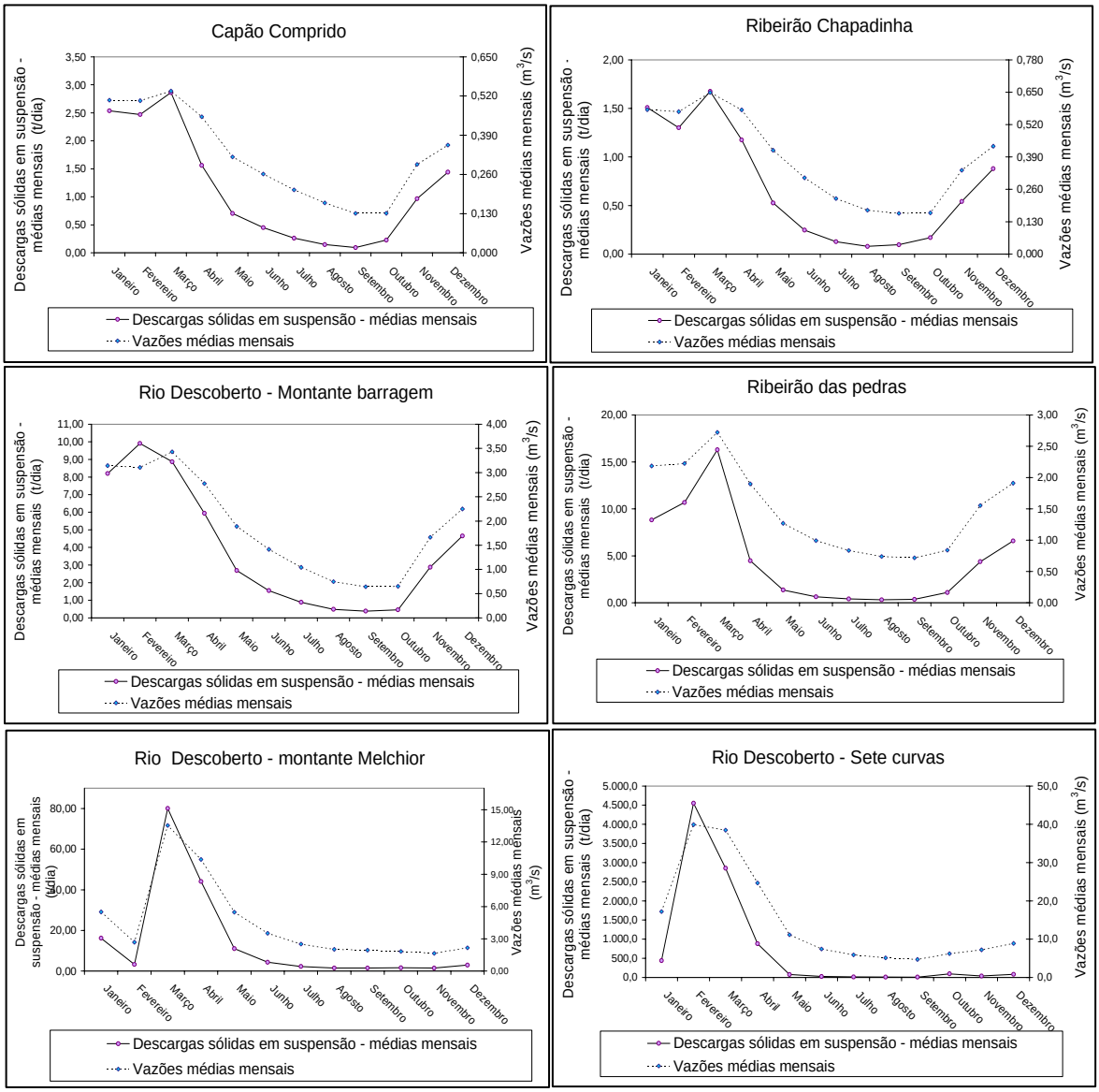

Figura 7.21 – Valores médios mensais da descarga sólida em suspensão e da vazão nas seções: Capão Comprido, ribeirão Chapadinha, rio Descoberto- montante barragem, ribeirão das Pedras, rio Descoberto – Montante Melchior e rio Descoberto – Sete curvas.

A análise da variação média da descarga sólida em suspensão representada nos gráficos da Figura 7.25 demonstra a variabilidade do transporte de sedimentos ocorridos ao longo do ano e como esse é mais significativo para os meses de cheia (dezembro a março) do que para o restante do período. Em média, 51% do deflúvio sólido médio anual foi transportado nesses quatro meses, considerando-se as seções analisadas, sendo que este valor é de 49% na estação do Capão comprido, 48% na estação Chapadinha, 52% na estação Descoberto –

Montante barragem, 45% na estação Montante Melchior e 59% na estação Descoberto – Sete curvas.

Os valores para o deflúvio sólido médio anual para o ribeirão das Pedras de acordo com a aplicação da curva CASEB/CNEC-1989, demonstrados na Tabela 7.3, explicitam as diferenças relatadas no item anterior, quando as duas curvas foram comparadas. A aplicação da curva de 1989 resulta num acréscimo de 1.960,6 t/ano, que equivale a um deflúvio sólido total de 19.606 toneladas nesses 10 anos.

Na Tabela 7.4 observa-se que as sub-bacias do Capão Comprido e Chapadinha apresentam vazões específicas muito semelhantes, em torno de 20 L/s.km^2, entretanto, com relação à descarga sólida em suspensão específica, observa-se que o Capão Comprido (26,4 t/km^2.ano) apresenta o dobro do valor encontrado para Chapadinha (13,77 t/km^2.ano).

Tabela 7.4– Resumo com as características das sub-bacias e seus resultados hidrológicos e sedimentológicos médios.

ESTAÇÕES	**Área de drenagem (km^2)**	**Declividade média da bacia**	**Vazão específica (L/s.km^2)**	**Descarga sólida em suspensão específica (t/km^2.ano)**	**Descarga sólida total específica (t/km^2.ano)**	**CSS - média (mg/L)**
Ribeirão Capão Comprido	15,686	0,0514	20,40	26,25	107,42	41,1
Ribeirão Chapadinha	18,14	0,0212	20,95	13,77	39,77	20,96
Rio Descoberto - montante barragem	104,613	0,0159	18,16	13,45	76,06	23,86
Ribeirão das Pedras	82,634	0,0170	18,03	20,11	52,57	35,86
Ribeirão das Pedras - CAESB	82,634	0,0170	18,03	49,9	76,3	88,99
Ribeirão Rodeador - CAESB	116,436	0,0107	12,37	42,17	57,06	109,86
Rio Descoberto - montante Melchior	151,291	-	29,29	33,79	89,30	37,09
Rio Descoberto - Sete Curvas	539,98	-	27,28	503,64	712,38	593,58

O mapa da Figura 7.22 representa graficamente os resultados obtidos para a concentração média nas estações fluviométricas estudadas.

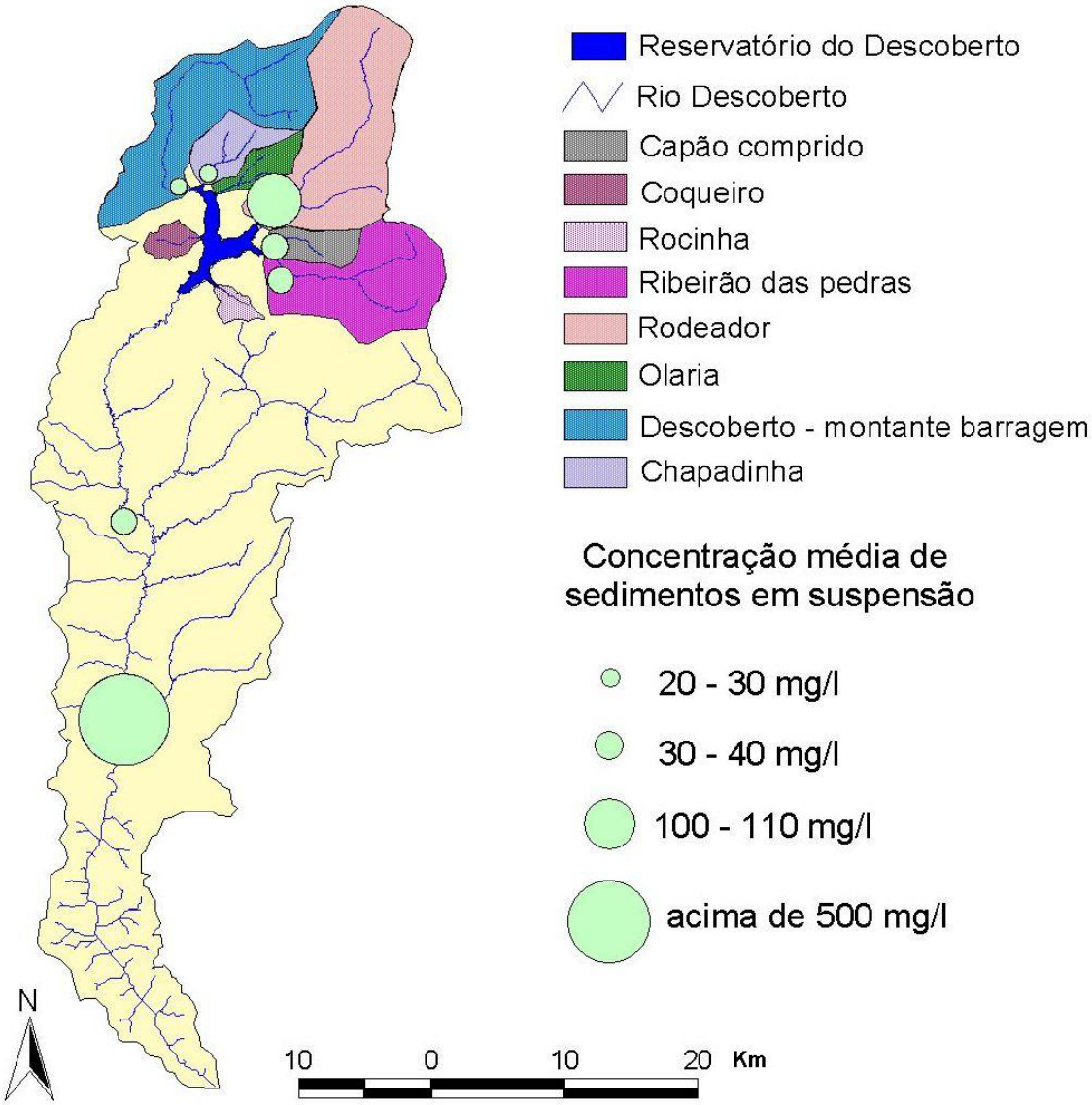

Figura 7.22 – Localização das sub-bacias a montante do reservatório e a representação para a concentração média de sedimentos obtidas nas estações estudadas.

Percebe-se, portanto, que apesar de possuírem características hidrológicas muito semelhantes, a bacia do Capão Comprido é uma bacia que produz mais sedimentos. A comparação entre as duas curvas revela que o coeficiente "a" é mais do que o dobro no Capão Comprido do que na curva da seção Chapadinha. As características físicas das bacias e seus respectivos usos e níveis de degradação podem explicar o que foi observado.

Ambas bacias são de uso predominantemente agrícola, sendo que a bacia do Capão Comprido é mais utilizada para essa finalidade do que a bacia do ribeirão Chapadinha e possui maior declividade, tornando-a mais suscetível à erosão. A bacia do ribeirão

Chapadinha, apesar de ser mais urbanizada do que a bacia do Capão Comprido, possuindo cerca de 54% de solo exposto e 27% de área urbana (Lima, 2004), possui um barramento no curso d'água que retém a descarga de sedimentos proveniente da área urbana de Brazlândia, dessa forma apresenta valores de descarga de sedimentos mais baixos a jusante.

Uma bacia rural pode apresentar perdas de solos significativas mesmo sendo pouco urbanizada, caso as medidas necessárias de conservação do solo não estejam sendo adotadas nas práticas agrícolas, e bacias que apresentam o processo de crescimento urbano já estabilizado, apresentando coberturas impermeabilizadas e pouco solo desnudo, podem não produzir tanto sedimento do que bacias com grande área de solo desnudo.

Situação semelhante é também verificada entre as estações do ribeirão das Pedras e do Descoberto – montante barragem. As sub-bacias possuem vazão específica em torno de 18 l/km^2.ano, mas devido às suas características físicas e de ocupação, o ribeirão das Pedras transporta uma descarga de sedimentos bem maior, com DSS específica de 20,11 t/km^2.ano enquanto na seção Descoberto – montante barragem ela é de 13,45 t/km^2.ano.

De acordo com Lima (2004), a bacia do Descoberto – Montante barragem apresenta em torno de 64% de solo desnudo, 28% de vegetação e 8% de área urbanizada. Essa caracterização dos usos observados na bacia pode ser visualizada no mapa de classificação dos usos do solo da Figura 5.9 e da imagem de satélite da Figura 5.8. Observa-se que a região urbanizada (município de Águas Lindas – Goiás) ocupa uma pequena área na porção sul dessa sub-bacia. A porção dessa sub-bacia que está localizada no Distrito Federal está mais conservada, e observa-se a existência de vegetação, sendo uma área de mata ciliar, cerrado e vereda (Carmo, 2001).

De acordo com Lima (2004), a bacia do ribeirão das Pedras possui 18% de sua área urbanizada, 37% de área de vegetação e 44% de solo desnudo. Parte da área urbana da Ceilândia encontra-se na sub-bacia do córrego Currais, afluente do ribeirão das Pedras, seu outro afluente encontra-se em área reflorestada e de campo.

De acordo com a classificação apresentada por Carvalho *et al*. (2000a) na Tabela 7.5, todas as sub-bacias analisadas (Chapadinha, ribeirão das Pedras, Capão Comprido, Descoberto –

Montante barragem, Descoberto – Montante Melchior e Rodeador) apresentam valores de descarga de sólidos em suspensão específica considerados baixos, e na seção do Descoberto – Sete curvas, o fluxo de sedimentos em suspensão apresenta valor considerado muito elevado. Esse valor seria ainda mais alto se fosse considerado, no cálculo, a redução da área de contribuição nesse ponto, já que o reservatório retém 98% dos sedimentos provenientes dos tributários.

Tabela 7.5 – Parâmetros utilizados para a análise dos valores do fluxo sólido em suspensão específico (Carvalho *et al,* 2000a).

Classificação	**DSS esp. (t/km^2.ano)**
baixa	< 70
moderada	70 a 175
alta	175 a 300
muito alta	> 300

Entre os fatores que podem ser considerados relevantes para explicar a alta produção de sedimentos em suspensão na estação do Descoberto - Sete curvas, encontra-se a contribuição do rio Melchior, que passa a contribuir logo a jusante da estação Descoberto - Montante Melchior. O rio Melchior recebia, até setembro de 2005, os esgotos brutos de Taguatinga e Ceilândia, quando fora inaugurada a ETE Melchior, que inicialmente operava somente com parte de sua capacidade. De acordo com von Sperling, (1996), os esgotos brutos apresentam uma concentração de sólidos totais entre 700 mg/L e 1.350 mg/L, sendo que 1.100 mg/L é o valor típico. Entretanto, considerando que a concentração média no rio Descoberto a montante do Melchior é de 37,09 mg/L, e a jusante é de 593,98 mg/L, a influência provocada pelos esgotos brutos provenientes do Melchior consiste em uma hipótese bastante razoável para justificar a alta concentração de sedimentos em suspensão nesse ponto.

Além da aparente influência da carga de esgotos brutos do Melchior nos resultados sedimentológicos da estação Descoberto – Sete curvas, existem provavelmente outros fatores relacionados ao rio Melchior que podem estar elevando essas concentrações, como a elevada taxa de erosão observada na calha do rio Melchior, como é mostrado na Figura 7.23. O rio Melchior apresenta picos de cheia bastante acentuados por receber águas pluviais da rede de drenagem urbana, além de possuir alta declividade em seu leito e

conseqüentemente altas velocidades de escoamento, o que provavelmente tem levado à intensa degradação da calha.

Figura 7.23 – Leito do rio Melchior, vista do talude da margem (Projeto Descoberto, 2006).

Os gráficos da Figura 7.24 representam a variabilidade anual ao longo do período de 1995 a 2005, assim como a variabilidade da vazão. Essas alterações podem ser melhor compreendidas através da análise dos gráficos de balanço de massa mostrados na Figura 7.25.

Observa-se que há trechos em que há o incremento da descarga sólida e outros em que há redução. Essas mudanças observadas são o reflexo das alterações ocorridas no regime de vazões nos fluxos de sedimentos, para os períodos considerados, com é ilustrado na Figura 7.24. A análise das alterações ocorridas em uma bacia e em seu nível de degradação depende da existência de curvas-chave de sedimentos de períodos distintos para que possam ser comparadas, como é feito no item 7.5 por meio da utilização das curvas-chave de sedimentos da CNEC/CAESB de 1989. As taxas de variação do transporte de sedimentos para os períodos em que ocorreram alterações estão demonstradas da Tabela 7.6.

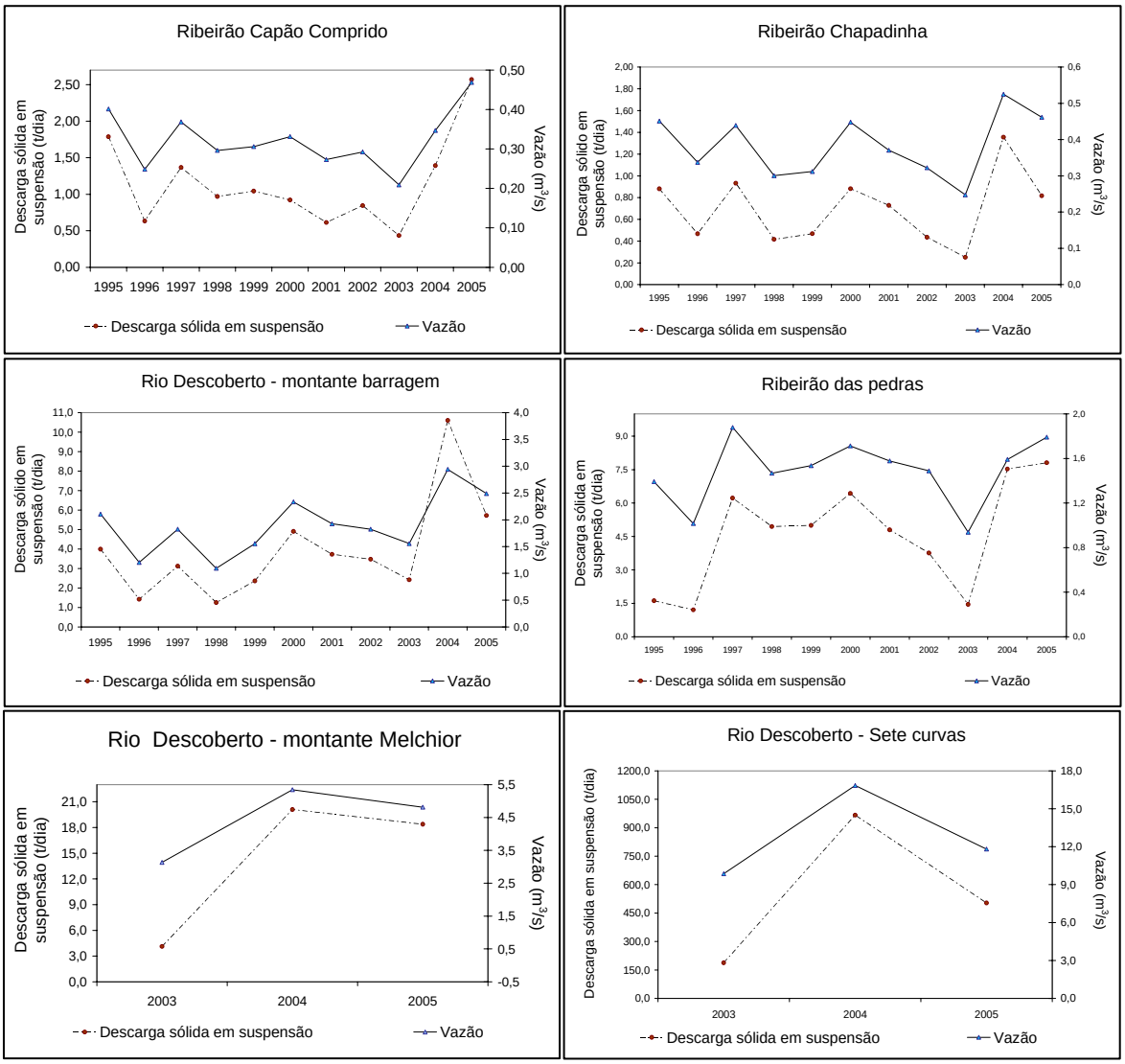

Figura 7.24– Variação do deflúvio sólido anual em suspensão nas seções: Capão Comprido, ribeirão Chapadinha, rio Descoberto- montante barragem, ribeirão das Pedras, rio Descoberto – Montante Melchior e rio Descoberto – Sete curvas.

O ribeirão das Pedras apresentou as taxas de elevação mais significativas, sofrendo reduções entre 2001 e 2003. Para todas as seções verifica-se que a transição de 2003 para 2004 (ano caracterizado por alta pluviosidade, segundo dados do Projeto do Descoberto) é marcada por acentuadas elevações nas taxas de transporte de sedimentos.

Tabela 7.6 – Valores da Taxa de variação do transporte de sedimentos no período (Ec) e a taxa de variação do transporte de sedimentos anual (R).

Capão Comprido		
Período	Ec	R (a.a.)
1995/1996 a 1996/2000	29,9 %	6,8 %
1996/2000 a 2000/2002	- 22,1 %	- 4,1 %
2000/2002 a 2002/2003	- 19,4 %	- 7 %
2002/2003 a 2003/2004	92,9 %	38,9 %
2003/2004 a 2004/2005	36,6 %	16,8 %
Chapadinha		
Período	Ec	R (a.a.)
1995/1996 a 1996/1997	53,3 %	23,8 %
1996/1997 a 1997/1998	- 34,8 %	- 19,2 %
1997/1998 a 1998/2000	29,2 %	8,9 %
1998/2000 a 2000/2001	9,9 %	3,2 %
2000/2001 a 2001/2003	- 38,4 %	-14,9 %
2001/2003 a 2003/2004	112,9 %	28,6 %
2003/2004 a 2004/2005	- 31,4 %	- 17,16 %
Descoberto – montante barragem		
Período	Ec	R (a.a.)
1995/1996 a 1996/1997	45,2 %	20,5 %
1996/1997 a 1997/1999	- 19,65 %	- 7,03 %
1997/1999 a 1999/2003	39,2 %	5,66 %
1999/2003 a 2003/2004	88,52 %	13,52 %
2003/2004 a 2004/2005	- 36,3 %	- 20,2 %
Ribeirão das Pedras		
Período	Ec	R (a.a.)
1995/1996 a 1996/2001	184,8 %	19 %
1996/2001 a 2001/2002	- 25,7 %	- 4,83 %
2001/2002 a 2002/2003	-38,54 %	- 21,6 %
2002/2003 a 2003/2005	191,98 %	42,93 %

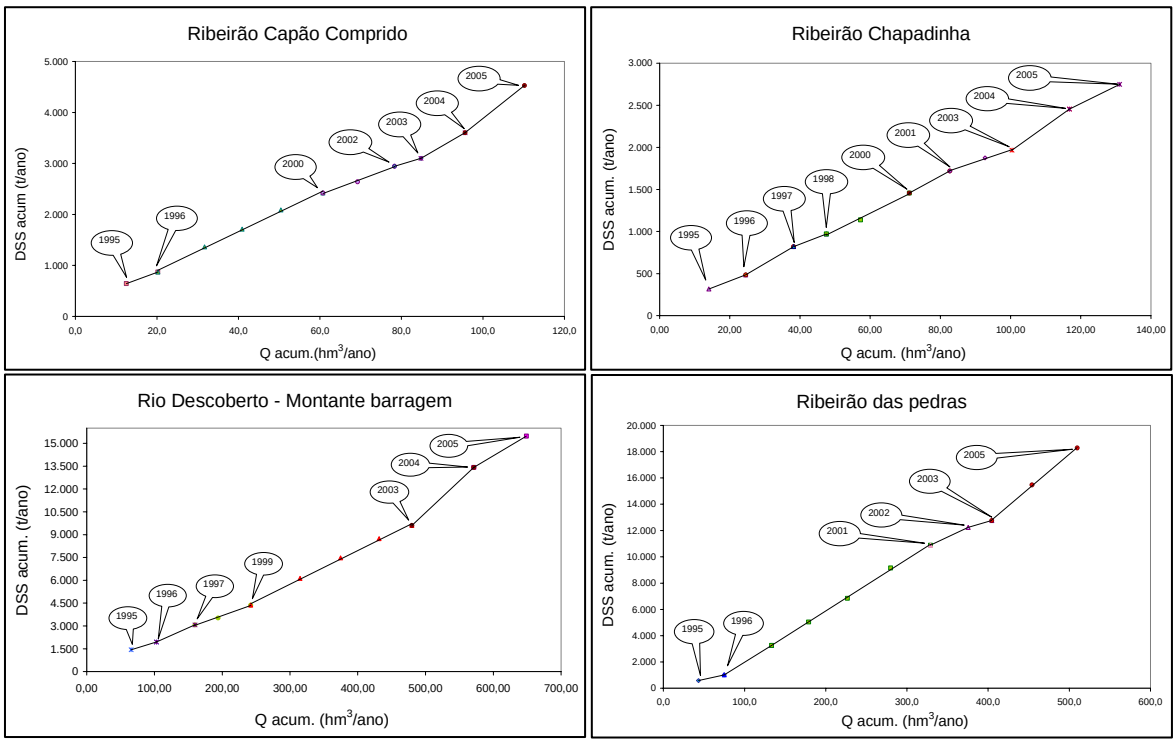

Figura 7.25 – Curvas de massa para as seções: Capão Comprido, ribeirão Chapadinha, rio Descoberto- montante barragem e ribeirão das Pedras.

7.6 - AVALIAÇÃO DO ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO DO DESCOBERTO

A partir dos resultados da aplicação das curvas-chave de sedimentos e do cálculo dos deflúvios sólidos médios anuais para cada uma das sub-bacias, foram obtidos os valores médios para a concentração e descarga de sedimentos em suspensão, vazão, vazão específica e descarga sólida total específica para a parte de montante do reservatório do Descoberto, apresentados nas Tabelas 7.3 e 7.4. A partir desses valores, estimou-se a descarga sólida para os tributários que não foram monitorados e não possuíam dados, como o ribeirão Olaria, Coqueiro, Rocinha e outros tributários menores, além do escoamento direto para o reservatório.

A totalização desses valores fornece uma aproximação para a descarga sólida baseada no levantamento realizado. É importante ressaltar que, em função das limitações deste trabalho, relacionadas à obtenção dos dados para altas vazões, esta avaliação pode ser considerada apenas uma estimativa do assoreamento do reservatório do Descoberto.

Tabela 7.7 – Cálculo dos valores para as sub-bacia que não possuem dados

Tributários	Área de drenagem (km^2)	Vazão média (m^3/s)	Deflúvio sólido total anual médio - 1995 a 2005 (t/ano)	Vazão específica ($L/km^2.ano$)	Descarga sólida total específica ($t/km^2.ano$)
Ribeirão Capão Comprido	15,69	0,32	1.684,91	20,40	107,42
Ribeirão Chapadinha	18,14	0,38	721,42	20,95	39,77
Rio Descoberto - montante barragem	104,61	1,90	7.957,05	18,16	76,06
Ribeirão das Pedras	82,63	1,49	4.344,12	18,03	52,57
Ribeirão Rodeador - CAESB	116,44	1,44	6.644,52	12,37	57,06
Média bacia				**17,98**	**66,58**
Olaria	12,50	0,32	832,20	17,98	66,58
Coqueiro, Rocinha, àrea de drenagem espelho d'água e outros	93,99	1,69	6.257,54		
Valores totais bacia	**444,00**	**7,54**	**28.441,76**	**17,98**	**66,58**

A eficiência de retenção foi calculada utilizando-se a curva de Brune (Figura 7.26), em que o valor da ordenada é 0,43, calculado dividindo-se o volume afluente anual (234,5 hm^3) pelo volume do reservatório (102 hm^3), obtendo-se a eficiência de retenção de 98%.

Considerando-se a descarga sólida total anual média calculada para a bacia (Tabela 7.7) de 28.441,76 t/ano, adotando-se eficiência de retenção do reservatório de 98% e o peso específico aparente inicial de 1,43 (calculado por meio da equação 3.13, sendo a operação do reservatório do tipo 2), para um tempo de funcionamento do reservatório de 33 anos, tem-se um volume assoreado de 0,643 hm^3, considerando-se 3% (a.a.) de taxa de aumento de transporte sólido e aplicando-se a fórmula de juros compostos, o volume assoreado estimado é de 1,7 hm^3. O resumo dos dados de entrada e de saída para esse cálculo é apresentado na Tabela 7.8

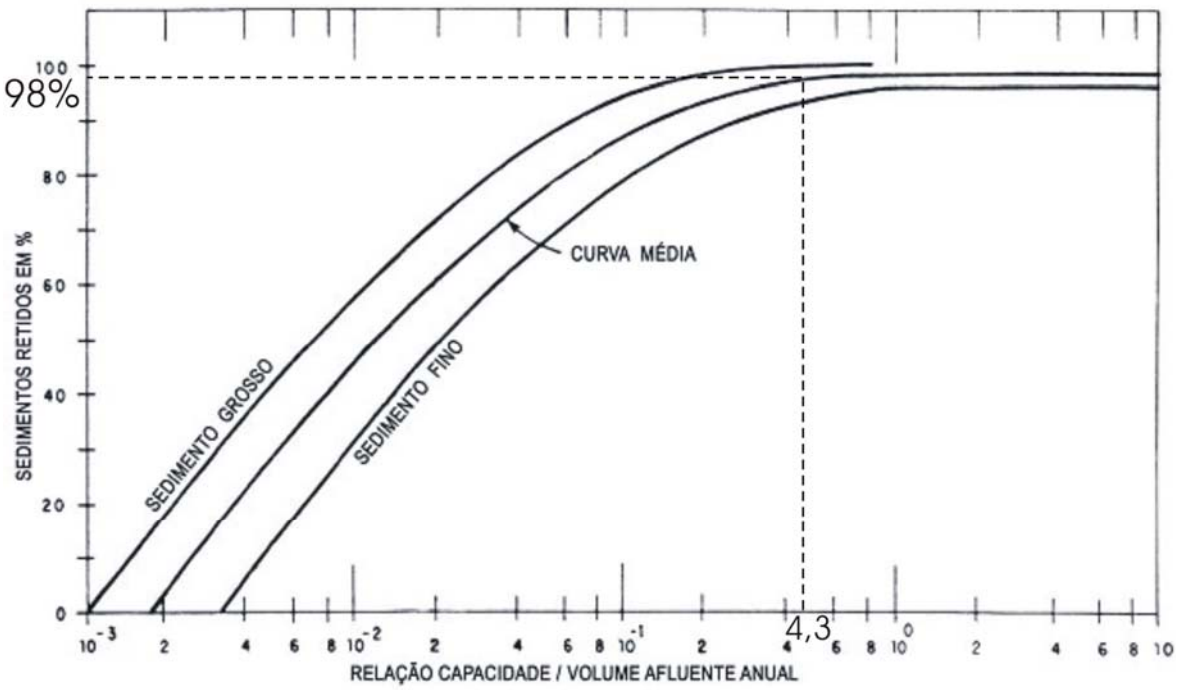

Figura 7.26 – Aplicação da relação capacidade do reservatório/volume afluente anual na curva de Brune para obtenção da eficiência de retenção.

Tabela 7.8 – Resumo dos dados de entrada para cálculo do assoreamento no reservatório e dados de saída para cálculo manual simplificado.

Dados Entrada	Volume afluente/capacidade reservatório	0,43
	Eficiência de retenção (curva de Brune) - %	98
	Granulometria sedimentos para cálculo do peso específico aparente (Carmo, 2001)	Argila: 2,9% Silte: 23,1% Areia: 73,94%
	Peso específico aparente Inicial	1,43
	Peso específico aparente para T = 33 anos	1,47
	Deflúvio sólido total afluente (ton/ano)	28.441
	Tipo de operação do reservatório	2 - Depleção do reservatório de pequena a média
	Tempo de operação do reservatório (anos)	33
	Volume do reservatório no NA máximo normal (hm^3)	102
	Taxa de aumento do transporte sólido (a.a.) - %	3
Dados saída	Volume de sedimento médio anual (hm^3)	0,0515
	Volume de sedimento assoreado após 33 anos (hm^3)	1,7

Foi realizado outro cálculo para a avaliação do assoreamento com a utilização do programa *Sediment*, com a utilização dos mesmos dados de entrada da Tabela 7.8. Os resultados para a aplicação do programa *Sediment* são apresentados na Tabela 7.9. Verifica-se que os dados são apresentados em intervalos anuais, e apresenta os valores da eficiência de retenção e do peso específico aparente para cada ano.

Tabela 7.9 – Resumo dos resultados gerados pelo programa *Sediment* para o cálculo do assoreamento do reservatório do Descoberto.

Tempo (anos)	**Volume sólidos depositados** (hm^3)	**Volume sólido efluente** (hm^3)	**Eficiência de retenção** (%)	**Peso específico aparente** (t/m^3)	**Descarga sólida afluente** (t/ano) x 10^3	**Descarga sólida efluente** (t/ano) x 10^3	**Volume sólidos depositados /volume total reservatório** Adimensional
1	0,02	0,001	97	1,428	29,3	0,76	0
3	0,062	0,002	97	1,432	31,08	0,81	0,001
5	0,106	0,003	97	1,434	32,97	0,86	0,001
7	0,152	0,005	97	1,436	34,98	0,91	0,001
9	0,202	0,006	97	1,437	37,11	0,97	0,002
11	0,254	0,008	97	1,438	39,37	1,03	0,002
13	0,31	0,009	97	1,438	41,77	1,09	0,003
15	0,369	0,011	97	1,439	44,31	1,16	0,004
17	0,431	0,012	97	1,439	47,01	1,23	0,004
19	0,498	0,014	97	1,44	49,87	1,3	0,005
21	0,568	0,016	97	1,44	52,91	1,38	0,006
23	0,643	0,018	97	1,441	56,13	1,47	0,006
25	0,722	0,02	97	1,441	59,55	1,56	0,007
27	0,806	0,023	97	1,441	63,18	1,66	0,008
29	0,895	0,025	97	1,442	67,02	1,76	0,009
31	0,989	0,028	97	1,442	71,11	1,87	0,01
33	1,089	0,031	97	1,442	75,44	1,98	0,011

Os resultados apresentados nas Tabelas 7.8 e 7.9 foram comparados aos resultados dos Levantamentos Topobatimétricos do reservatório do Descoberto, realizados em 2002 pela CAESB e Magna Engenharia que compõe os Estudos de Concepção e de Viabilidade Técnica e Econômica para Elevação da Crista do Vertedouro da Barragem do Rio Descoberto.

Através da realização de levantamentos em campo, esse trabalho busca determinar o volume de assoreamento ocorrido no reservatório do Descoberto por meio da comparação dos resultados dos valores atuais levantados pela topobatimetria aos valores de áreas e volumes obtidos em trabalhos anteriores, realizados para a CAESB, sendo eles:

- Geotécnica S.A. - Engenheiros Consultores – Estudos Hidrológicos (1969);

- Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores - Relatório Hidrológico do Distrito Federal (1.978);
- Enge-Rio / Reavaliação dos Estudos Hidrológicos – Volume I (1.988).

A comparação entre os trabalhos está apresentada na Tabela 7.10, onde são descritos os volumes em um intervalo de cotas para cada um dos trabalhos e a variação entre os volumes verificados na comparação entre os estudos.

Tabela 7.10 – Comparativo das curvas cota x volume dos trabalhos realizados (CAESB/Magna, 2002).

Cota	Volume (m3)				Variação			OBS.
	Geotécnica	Planta CNEC	Enge-Rio	Topobatimetria				
	1969	1978	1988	2002				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(2)/(1)	(3)/(1)	(4)/(1)	
1.013,00	0,46	0,53	0,64	0,11	15,22	39,13	-75,60	Volume morto
1.014,00	0,90	1,05	1,00	0,27	16,67	11,11	-70,49	
1.015,00	1,50	1,58	1,60	0,64	5,33	6,67	-57,37	
1.016,00	2,60	2,96	2,60	1,33	13,85	0,00	-48,72	
1.017,00	4,10	4,34	4,00	2,60	5,85	-2,44	-36,64	
1.018,00	6,10	6,56	6,00	4,47	7,54	-1,64	-26,77	
1.019,00	8,40	9,62	8,40	6,95	14,52	0,00	-17,30	
1.020,00	11,00	12,68	11,20	9,97	15,27	1,82	-9,32	
1.021,00	15,40	18,00	15,40	13,70	16,88	0,00	-11,02	Volume útil
1.022,00	20,50	23,32	20,10	18,24	13,76	-1,95	-11,01	
1.023,00	27,20	29,82	27,00	23,62	9,63	-0,74	-13,17	
1.024,00	34,90	37,51	35,10	29,91	7,48	0,57	-14,30	
1.025,00	43,50	45,19	44,30	36,98	3,89	1,84	-14,99	
1.026,00	52,80	55,47	54,00	44,78	5,06	2,27	-15,18	
1.027,00	64,00	65,75	64,10	53,51	2,73	0,16	-16,39	
1.028,00	76,00	77,48	74,80	63,19	1,95	-1,58	-16,85	
1.029,00	88,70	90,67	87,50	74,01	2,22	-1,35	-16,56	
1.030,00	102,90	103,86	102,30	85,99	0,93	-0,58	-16,43	
1.031,00	118,20	119,97	118,20	99,13	1,50	0,00	-16,13	
1.032,00	134,90	136,09	134,90	113,41	0,88	0,00	-15,93	

A partir da análise dos dados apresentados na Tabela 7.10, observa-se que na cota de operação (1.030,00) o reservatório apresentava, em 1969, o volume útil de 102,3 hm^3, e o levantamento topobatimétrico de 2002 apresenta um volume de 85,99 hm^3 para essa cota. O que representa um volume assoreado de 16,91 hm^3, equivalente à perda de 16,43% do volume útil.

A partir da comparação dos resultados obtidos pela topobatimetria (volume assoreado de 16,91 hm^3) com os resultados obtidos a partir da avaliação do assoreamento utilizando-se os dados levantados neste estudo sedimentométrico (volume assoreado em torno de 1,7 hm^3), determinou-se que possivelmente ocorreu a sub-estimativa, por parte deste estudo sedimentométrico, em torno de uma ordem de magnitude (perto de 1.000%). Entretanto, há possibilidade de superestimativa dos resultados obtidos a partir do levantamento topobatimétrico, pois o volume assoreado de 16,91 hm^3, em 33 anos equivale a uma concentração média de aproximadamente 3.000 mg/L, que é um valor muito elevado para essa bacia, o que possivelmente não reflete a sua realidade.

Córdova e Gonzáles (1997) utilizaram levantamentos batimétricos de quatro reservatórios e mostraram que as estimativas das descargas de sedimentos estavam sub-estimadas entre 100% e 2.800%.

Córdova e González (1997) afirmam que, em pequenas bacias, dados confiáveis para a estimativa da descarga de sedimentos podem ser obtidos por meio de monitoramento contínuo da vazão e da descarga de sedimentos em suspensão e incorporando essa informação para pequenos intervalos de tempo, de acordo com o tempo de resposta da bacia. Os autores recomendam também o acompanhamento regular do assoreamento através de levantamentos batimétricos. Eles relatam que a aplicação da curva-chave para valores diários de vazão, método utilizado neste trabalho, quando aplicada a pequenas bacias hidrográficas, introduzem graves erros com relação às estimativas de descargas de sedimentos. Essas discrepâncias ocorrem em bacias pequenas porque nelas os valores máximos de vazão que ocorrem durante um dia podem variar muito com relação à média diária dos valores lidos às 7hs e 17hrs.

Para verificar as influências das flutuações de vazão ao longo do dia, na descarga de sedimentos em suspensão, aplicou-se dados de nível coletados por linígrafo com intervalos de 15 minutos à curva-chave de sedimentos, para o período de um ano, em duas das estações monitoradas, uma delas localizada a montante do reservatório e outra a jusante, as estações ribeirão das Pedras e Descoberto – Sete curvas, respectivamente. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 7.11.

Tabela 7.11 – Resultados da aplicação dos dados de vazão obtidos no linígrafo, em intervalos de 15 min, à curva-chave de sedimento.

Resultados para o ano de 2004	**Descoberto - Sete curvas**	**Ribeirão das Pedras**
Vazão média calculada com a curva-chave, a partir das cotas linimétricas com intervalos de 15 minutos - (m^3/s)	17,41	1,45
Vazão média calculada com a curva-chave, a partir da cota média diária entre as leituras realizadas às 7:00 e às 17:00 - (m^3/s)	16,84	1,59
Descarga sólida em suspensão média calculada com a curva-chave de sedimentos a partir das cotas linimétricas com intervalos de 15 minutos (ton/dia)	1.263,28	57,27
Descarga sólida em suspensão média calculada com a curva-chave de sedimentos a partir da cota média diária entre as leituras realizadas às 7:00 e às 17:00 - (ton/dia)	966,45	7,53
Deflúvio líquido (intervalos de 15 minutos) (m^3/ano)	6.498.125.852.64	541.588.844,04
Deflúvio líquido (7:00 e 17:00) - (m^3/ano)	6.284.695.345,56	594.216.734,64
Diferença entre deflúvios líquidos	213.430.507,08	-52.627.890,56
Diferença percentual (%)	3,40%	-8,86%
Deflúvio sólido (intervalos de 15 minutos) (t/ano)	5.457.386,28	247.420,56
Deflúvio sólido (7:00 e 17:00) - (m^3/ano)	4.175.067,12	32.514,12
Diferença entre deflúvios sólidos	1.282.319,16	214.906,44
Diferença percentual (%)	30,71%	660,96%

Segundo Barnez (2004), os erros na determinação da vazão máxima aumentam conforme utiliza-se maiores intervalos de registro de dados, sendo que em bacias com maior área o erro é menor. Entretanto, Barnez (2004) não considera que seja considerável a diferença entre os erros na quantificação do deflúvio líquido por meio da utilização das duas metodologias (médias diárias e leituras a cada 15 minutos), o que pôde ser observado a partir da análise da Tabela 7.11 para deflúvio líquido, mas o mesmo não acontece para deflúvio sólido.

Observa-se na Tabela 7.11 que a aplicação de cotas em intervalos pequenos à curva-chave não acarretou em grandes diferenças nos valores de deflúvio líquido, sendo que para a

estação do Descoberto - Sete curvas a diferença foi de 3,4% e no ribeirão das Pedras o deflúvio líquido chegou a sofrer redução de 8,86%. Entretanto, verifica-se para o deflúvio sólido que a maior discretização dos valores de vazão a serem aplicados à curva-chave de sedimentos, resultou em maiores descargas sólidas em ambas estações. Na estação do Descoberto – Sete curvas o deflúvio sólido calculado com a utilização dos dados do linígrafo foi 30,71% maior do que o deflúvio sólido calculado a partir de dados diários. Na estação do ribeirão das Pedras essa diferença foi de 660,96%. Observa-se que a utilização de dados com pequenos intervalos de registro é bastante significativa no cálculo do deflúvio sólido em pequenas bacias, como foi observado no ribeirão das Pedras.

Considera-se, portanto, que há grandes possibilidades de que este estudo sedimentológico subestimou as descargas de uma forma geral. Entre os fatores que podem ter gerado a subestimativa dos valores de descarga sólida, estão:

- A grande extrapolação aplicada às curvas-chave de sedimentos, devido à não-medição de pontos altos nas curvas;
- A utilização de valores diários de vazão para determinação das descargas sólidas diárias, que não reflete as altas variações diárias normalmente ocorridas em pequenas bacias;
- Os problemas e as limitações encontrados para a elaboração das curvas-chaves desse estudo específico, sendo que não foi monitorado todo o período hidrológico;
- As aproximações adotadas para obter-se os valores de descarga sólida necessários para a avaliação do assoreamento, como a regionalização aplicada à sub-bacias que não possuíam dados sedimentométricos;
- A utilização do método simplificado de Colby para realizar as estimativas das descargas sólidas totais;
- As limitações intrínsecas ao método das curvas-chave de sedimentos, como a não estacionariedade da curva, já que uma situação levantada em 2005 e aplicada a uma série histórica de 10 anos possivelmente não reflete a realidade ocorrida no período.

A elucidação das dúvidas geradas a partir das discrepâncias observadas entre os dois estudos depende da continuação do monitoramento sedimentométrico para um período mais longo e da realização de novo levantamento topobatimétrico.

8 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

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

- Não é imprescindível conhecer-se as velocidades de escoamento do fluxo de água para a realização das coletas de amostras com eficiência. A determinação do tempo de amostragem para a amostra padrão pode ser realizada por tentativa e erro, até que a garrafa atinja o volume esperado, adotando-se tempos de amostragem aleatórios até a determinação do tempo ideal, que será utilizado no cálculo da velocidade de trânsito;
- A determinação da concentração média de sedimentos em suspensão com base na amostragem de apenas uma vertical pode ser feita com erros aceitáveis;
- A variabilidade da concentração média de sedimentos em suspensão nas verticais das seções transversais dos cursos d'água de maior porte é menor que aquela verificada nos de menor porte;
- Há indícios de que é possível a obtenção da concentração média de sedimentos em suspensão de uma seção transversal com base em apenas uma amostra pontual coletada próxima à margem do curso d'água;
- A sub-bacia do rio Descoberto, a montante do reservatório, apresentou a menor descarga sedimentos em suspensão específica (13,45 t/km^2.ano), seguida pela sub-bacia do ribeirão Chapadinha (13,77 t/km^2.ano);
- A sub-bacia do Capão Comprido apresenta produção muito mais elevada do que outras bacias com características semelhantes, como o Chapadinha, possuindo descarga de sedimentos em suspensão específica de 26,25 t/km^2.ano;
- A estação do Descoberto - Sete curvas apresenta uma descarga de sedimentos em suspensão específica considerada muito alta (503,64 t/km^2.ano);
- O ribeirão das Pedras apresenta atualmente sua bacia em uma situação menos degradada do que se apresentava durante o ano de 1989;
- Os resultados obtidos no estudo sedimentológico realizado não foram coerentes com os resultados do levantamento topobatimétrico realizado pela CAESB;
- A aplicação de dados de vazão com pequenos intervalos de tempo às curvas-chave de sedimentos mostrou que o deflúvio sólido real pode ser consideravelmente mais elevado do que o deflúvio sólido calculado a partir da aplicação de valores diários de vazão, e essa diferença é muito significativa para pequenas bacias hidrográficas.

Da análise dos dados obtidos a partir do estudo, recomenda-se como futuros estudos relacionados ao transporte de sedimentos a serem desenvolvidos na bacia do rio Descoberto:

- Realização de outras coletas de amostras para adicionar-se novos pontos às curvas-chave de sedimentos apresentadas, incluindo-se principalmente a coleta de amostras durante a ocorrência de cheias;
- Realização da coleta de amostras com a utilização do amostrador pontual, nas mesmas profundidades em que forem realizadas as medições de velocidades, e a realização de coletas de amostras com a utilização do amostrador de profundidade, nas mesmas verticais, sendo que ambas devem ocorrer no mesmo dia, para permitir a comparação entre os valores de concentração obtidos entre os dois métodos de amostragem;
- Coletas de amostras do leito para a aplicação do método modificado de Einstein para a verificação dos resultados obtidos para a descarga sólida total com a utilização do método simplificado de Colby que foram utilizados neste trabalho;
- Realização do estudo sedimentométrico no rio Melchior para verificar suas reais influências sobre os resultados sedimentológicos obtidos no rio Descoberto, na estação Sete curvas;
- Realização de outro levantamento topobatimétrico, para que seja possível a comparação dos dois estudos e a obtenção de resultados mais precisos na determinação do volume assoreado.

REFERÊNCIAS BIBLOGRÁFICAS

Andrade, F.T.B., Silva, J.F.R., Coelho, L.S. (2001). "Produção de sedimentos nas bacias dos rios Pindaré, Mearim, Grajaú e Itepecuru-MA".*Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Aracaju,SE.

Araújo, C.C., Marques, J.A.V., Neto, A.R.S., Dourado, J.C., Machado, R.N.S. (2003). "Estudo da produção de sedimentos da sub-bacia do ribeirão Taquaruçu Grande (TO)." *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Curitiba, PR.

Asselman, N.E.M. (2000). "Fitting and interpretation of sediment rating curves." *Journal of Hydrology,* 234, p. 228-248.

Avila, V. B. (2005). "Relação entre o Uso e Manejo do Solo em uma Bacia Rural e a Contribuição de Nitrogênio, Fósforo e Sedimentos a Corpos Hídricos Dissertação de Mestrado Universidade de Brasília." Dissertação de mestrado Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília- DF.

Baptista, G.M.M. (1997). "Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos, no Distrito Federal, por meio do Geoprocessamento". Dissertação de Mestrado, Publicação MTARH.DM-001A/97, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília,DF, 112p.

Barnez, A.S. (2004). "Análise da influência do intervalo de tempo de registro de dados de linígrafos e pluviógrafos em estudos hidrológicos de pequenas bacias hidrográficas." Dissertação de Mestrado Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília- DF.

Bordas, M.P., Semmelman, F.R. (1993). "Elementos de engenharia de sedimentos." In: Tucci, C.E.M (organizador) (2001) *Hidrologia – Ciência e aplicação*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, Brasil, p. 915-943.

Bronsdon, R.K., Naden, P.S. (2000). "Suspended sediment in the rivers Tweed and Teviot." *The Science of the Total Environment*, 251/252, p. 95-113.

CAESB, CNEC – Consorcio Nacional de Engenheiros Consultores S.A. (1989). "Relatório final de operação da rede sedimentométrica". Volume 01. Brasília-DF.

CAESB, CNEC – Consorcio Nacional de Engenheiros Consultores S.A. (1985). "Plano de proteção do lago Descoberto". Relatório Final- Tomo 01. Brasília-DF.

CAESB, Magna Engenharia Ltda. (2002). "Levantamentos Topobatimétricos – Texto." *Estudos de Concepção e de Viabilidade Técnica e Econômica para Elevação da Crista*

do Vertedouro da Barragem do Rio Descoberto. Volume II – Tomo 01 de 02, Porto Alegre, Brasil.

Carmo, M.S. (2001). "Geoquímica de águas e sedimentos de correntes da bacia hidrográfica do rio Descoberto – Brasília-DF." Dissertação de Mestrado Universidade de Brasília. Instituto de Geociências, Brasília- DF.

Carvalho, G.B.B. (2004). "Modelo de Avaliação Econômica para a Gestão da Água: Aplicação à Bacia do rio Descoberto no Distrito Federal". Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH. DM-067/2004, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 116p.

Carvalho, N. O. (1994). *Hidrossedimentologia prática*, CPRM/Eletrobrás, Rio de Janeiro, 352p.

Carvalho, N.O., Júnior, N.P.F., Santos, P.M.C., Lima, J.E.F.W. (2000a). *Guia de práticas sedimentométricas.* ANEEL, Brasília-DF, 154 p.

Carvalho, N.O., Júnior, N.P.F., Santos, P.M.C., Lima, J.E.F.W. (2000b). *Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios.* ANEEL, Brasília-DF, 140 p.

Carvalho, N.O., Cunha, S.B. (1997). "Contribuição de sedimentos do Amazonas para o oceano." *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Vitória, ES.

Carvalho, N.O., Coimbra, A.R.S.R., Payolla, B.L., Castro, T.L.C., Mendes, A.B. (2001). "Causas e efeitos do aumento da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia."*Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Aracaju,SE.

Carvalho, N.O., Salgado, J.C.M., Ross, J., Ruiz, N.C.P., Silva, L.F.A., Mesquita, J.B., Goulart Neto, A.A., Silva, L.P. (2005). "Sedimentological studies of the Madeira river, Brazil." *Anais do Simpósio S1 ocorrido durante o VII Congresso Científico da IAHS.* Foz do Iguaçu, RS.

Chen, Z., Li, J., Shen, H., Zhanghua, W. (2001). "Yangtze river of China: historical analysis of discharge variability and sediment flux". *Geomorphology,* 41, p. 77-91.

CODEPLAN (1984). *Atlas do Distrito Federal*. 1ª edição, GDF, Brasília.

Coiado, E.M. (2001a). "Assoreamento de reservatórios." In: Paiva, J. B. D. e Paiva, E. M. C. D. (organizadores) (2001*) Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 625p.

Coiado, E.M. (2001b). "Uso do amostrador fixo programável na determinação da concentração dos sedimentos transportados em suspensão no rio Atibaia-SP".*Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Aracaju,SE.

Córdova, J.R, González, M. (1997). “Sediment yield estimation in small watersheds based on streamflow and suspended sediment discharge measurements.” *Soil technology*, 11, p. 57-65.

Davide, V., Pardos, M., Diserens, J. Ugazio, G., Thomas, R., Dominik, J. (2003). “Characterization of bed sediments and suspension of the river Po (Italy) during normal and high flow conditions.” *Water research,* 37, p. 2847-2864.

Einstein, H.A. (1964). “River sedimentation.” In: Chow, V.T. (organizador) *Handbook of applied hydrology*. Editora McGraw-hill, EUA.

Filizola, N.P., Guyot, J.L., Quintanilla, J., Cortes, J. (1997). “Fluxo de matéria dissolvida e particulada dos Andes Bolivianos à Amazônia Brasileira através do rio Madeira”.*Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Vitória, ES.

Fill, H.D., Santos, I. (2001). “Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão através da profundidade Sechi”.*Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Aracaju,SE.

Gottschalk, L.C. (1964). “Reservoir sedimentation.” In: Chow, V.T. (organizador) *Handbook of applied hydrology*. Editora McGraw-hill, EUA.

Haridasan, M. (1994). Solos. *In*: Novaes Pinto, M. (org.). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. 2ª edição, Edunb / SEMATEC, Brasília.

Henklein, J.M., Coiado, E.M. (1999). “Correlações visando reduzir o número de medições fluvio-sedimentométricas.” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 4, n. 2, p. 49-60.

Hicks, D.M., Duncan, M.J. (1997). “The efficiency of deth-integrating samplers in sampling the suspended sand load in gravel bed rivers.” *Journal of Hidrology*, 201, p. 138-160.

Honda, E.A., Ochiai, H. (1997). “O transporte de sedimentos em suspensão na cabeceira do rio Água da Cachoeira, Paraguaçu Paulista-SP.” *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Vitória, ES.

IEMA/SEMATEC (1995). *Mapa Ambiental do Distrito Federal*, 1ª edição, GDF, Brasília.

Jansson, M. (1995). “Estimating a sediment rating curve of the Reventazón river at Palomo using logged mean loads within discharge classes.” *Journal of Hidrology*, 183, p. 227-241.

Lenzi, M.A., Marchi, L. (2000). “Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites.” *Catena*, 39, p. 267-282.

Lima, J.B.M. (2004). “Estudo de redes de monitoramento de qualidade das águas superficiais – o caso da baia do rio descoberto.” Dissertação de Mestrado Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília- DF.

Lima, J.E.F. W., Santos, P.M.C., Chaves, A.G.M., Scilewski, L.R., (2001). *Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco.* Embrapa Cerrados; ANEEL:ANA, Brasília-DF, 108p.

Lima, J.E.F.W., Santos, P.M.C., Carvalho, N.O., Silva, E.M., (2003). *Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia Araguaia-Tocantins.* Embrapa Cerrados; Brasília-DF: ANEEL:ANA, Brasília-DF, 116p.

Lima, J.E.F.W., Santos, P.M.C., Lopes, W.T.A., Carvalho, N.O., Vieira, M.R., Silva, E.M., (2005). “Suspended sediments fluxes in the large river basins of Brazil*”. Anais do Simpósio S1 ocorrido durante o VII Congresso Científico da IAHS.* Foz do Iguaçu, RS.

Lima, M.C. (2003). “Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas.” Tese de doutorado em Geotecnia. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Brasília- DF.

Linsley, R., K. J., Kohler, M.A., Paulhus, J.L.K. (1988). *Hydrology for engineers.* Editora McGraw-Hill; Singapura, 492 p.

Lobo, G.A., Moretti, L.R., Brighetti, G. (1999). “Sedimentometria em pequenas bacias hidrográficas.” *XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Belo Horizonte, MG.

Magna, CAESB. (2003). “Levantamentos Topobatimétricos – Texto”. *Estudos de Concepção e de Viabilidade Técnica e Econômica para Elevação da Crista do Vertedouro da Barragem do Rio Descoberto*. Volume II – Tomo 01 de 02, Porto Alegre – RS

Martins M.E., Coiado, E.M. (1999). “Produção de sedimentos em microbacia agrícola cultivada com cana-de-açúcar.”*XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Belo Horizonte, MG.

Nordin Jr., C.F. (1985). “The sediment load of rivers.” In: Rodda, J.C. (organizador) *Facets of Hydrology Volume II*. Editora John Wiley & Sons Ltd, EUA.

Old, G.H., Leeks, G.J.L., Packman, J.C., Smith, B.P.G., Lewis, S., Hewitt, E.J., Holmes, A. Y. (2003). “The impact of a convectional summer rainfall event on river flow and fine sediment transport in a highly urbanized catchment: Bradford, West Yorkshire.” *The Science of theTotal Environment*, v.314-316, p.495-512.

Oliveira, M.G.B., Baptista, M.B. (1997). “Análise da evolução temporal da produção de sedimentos na bacia hidrográfica da Pampulha e avaliação do assoreamento do reservatório”.*XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Vitória, ES.

Paiva, E.M.C.D, Paiva, J.B.D., Costas, M.F.T., Santos, F.A. (2001). “Concentração de sedimentos em suspensão em uma pequena bacia hidrográfica em urbanização.” *Anais do 21° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, RJ.

Paiva, E.M.C.D. (2001a). “Métodos de estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas.” In: Paiva, J. B. D. e Paiva, E. M. C. D. (organizadores) (2001) *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 625p.

Paiva, J.B.D. (2001b). “Métodos de cálculo do transporte de sedimento em rios.” In: Paiva, J. B. D. e Paiva, E. M. C. D. (organizadores) (2001*) Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 625p.

Paranhos, R.M, Paiva, J.B.D. (2003). “Avaliação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica”.*XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Curitiba, PR.

Paranhos, R.M, Paiva, J.B.D. (2005). “Hydro-sedimental monitoring in a small watershed: instrumentation and results.” *Simpósio S1 ocorrido durante o VII Congresso Científico da IAHS.* Foz do Iguaçu, RS.

Pavanelli, D., Pagliarani, A. (2002). “Monotoring water flow, turbidity and suspended sediment load, from na apennine catchment basin, Italy.” *Biosystems Engineering,* 83 (4), p. 463-468.

Picouet, C., Hingray, B., Olivry, J.C. (2001). “Empirical and conceptual modeling of the suspended sediment dynamics in a large tropical African river: the Upper Niger river basin.” Journal of Hydrology, 250, p.19-39.

Ramos, C.L., Curi, F.S, Kosminsky, C. (1991). “Estudo sedimentológico na região metropolitana de São Paulo.” *Anais do IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,* v. 03, p. 436-444. Rio de Janeiro, RJ.

Ribeiro,M.O., Koide,S., Souza, M.A.A. (2000). *Estudo do quadro atual da qualidade da água superficial na bacia do rio Descoberto, no Distrito Federal*. Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, Brasília-DF.

Ribeiro, M. O. (2001). *Estudo da Poluição e Autodepuração nos Rios Melchior e Descoberto, na Bacia do Descoberto DF/GO, com auxílio de modelos matemáticos de*

simulação de qualidade da água, para estudos de seu comportamento atual e futuro. Dissertação de Mestrado Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília- DF.

Rodrigues Júnior, J.C., Mortatti, J., Moraes, J.M., Martinelli, L.A. (1997). "Dinâmica dos sedimentos em suspensão na bacia do rio Piracicaba: Estimativa da erosão mecânica." *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Vitória, ES.

Santos, I., Fill, H.D., Sugai, M.R.V.B., Buba, H., Kishi, R.T., Marone, E., Lautert, L.F. (2001). "Medição do transporte de sedimentos." In: *Hidrometria aplicada*. Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento, Curitiba-PR, 272 p.

Schindl, G., Studnicka, M., Eckelhart, A., Summer, W., (2005). "Hydrological and instrumentation aspects of monitoring and analyzing suspended sediment transport crossing international borders*". Anais do Simpósio S1 ocorrido durante o VII Congresso Científico da IAHS.* Foz do Iguaçu, RS.

Silva, C.L. (2003a). "Análise estatística das características de vazão do córrego Capetinga". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.2, p.311-317.

Silva, C. R. (2003b). "Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno. Fase I". Rio de Janeiro : CPRM / EMBRAPA / SCO-MI.

Silva, V.C. (2001). *Erosão atual, erosão potencial e aporte de sedimento na bacia do rio Paracatu (MG/GO/DF).*Tese de doutorado, IG-UnB, Brasília, 108 p.

Simões S.J.C. e Coiado, E.M. (2001). "Processos erosivos." In: Paiva, J. B. D. e Paiva, E. M. C. D. (organizadores) (2001*) Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 625p.

Simom, A., Dickerson, W., Heins, A. (2003). "Suspended-sediment transport rates at the 1.5-year recurrence interval for ecoregions of the United States: transport conditions at the bankfull and effective discharge?" *Geomorphology*, 58, p. 243-262.

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

Smith, B.P.G., Naden, P.S., Leeks, G.J.L., Wass, P.D. (2003). "The influence of storms events on fine sediment transport, erosion and deposition within a reach of the river Swale, Yorkshire, UK." *The Science of the Total Environment*. 314-316, p. 451-474.

Sun, H., Cornish, P.S., Daniell, T.M. (2001). “Turbidity-based erosion estimation in a catchment in south Australia.” *Journal of Hidrology*, 253, p. 227-238.

Tucci, C.E.M. (2002). *Hidrologia – Ciência e aplicação.* Editora da UFRS/ABRH, Porto Alegre, 943 p.

Von Sperling, M. (1996). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2 ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 243p.

Wass, P.D., Marks, S.D., Finch, J.W., Leeks, G.J.L., Ingram, J.K. (1997). “Monitoring and preliminary interpretation of in-river turbidity and remote sensed imagery for suspended transport studies in the Humber catchment”. *The science of the total environment*. 194-195, p. 263-283.

Wilson Júnior, G. (1997). “Perfis sedimentares longitudinais das camadas ativas dos leitos dos rios”.*Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Vitória, ES.

Wilson Júnior, G. (1999). “Estudo do movimento sedimentar em escoamentos com superfície livre”. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Belo Horizonte, MG.

Xu, J. (2002). “Implication of relationships among suspended sediment size, water discharge and suspended sediment concentration: the Yellow river basin, China.” *Catena*, 49, p. 289-307.

Yang, S., Zhao, Q., Belkin, I. (2002). “Temporal variation in the sediment load of the Yangtze river and the influences of human activities.” *Journal of Hydrology*, 263, p. 56-71.

REFERÊNCIAS BIBLOGRÁFICAS em apud

Guy, H.P., Norman, V.W. (1970). *Field methods for measurements of fluvial sediment.* Washington. U.S. Government Printing Office, Washington, 59p.

Subcomittee on sedimentation. *Determination of fluvial sediment discharge*. (1963). Washington D.C.: Inter-Agency Committee on water resources, nº14.

Vanoni, V.A. (1977). *Sedimentation engineering.* ASCE, New York, 745 p.

APÊNDICES

APENDICE A – ISOVALORES DE CONCENTRAÇÃO, DE VELOCIDADE E DE TURBIDEZ

Isovalores de concentração, de velocidade e de turbidez foram determinados a partir das coletas de amostras realizadas em uma das campanhas em que foi utilizado o amostrador pontual, coletando-se amostras e medindo-se a velocidade a profundidades de 20%, 60% e 80% da profundidade, a partir da superfície.

Foi utilizado o *software Surfer* para a elaboração das superfícies, cujo método de interpolação escolhido foi a triangularização com interpolação linear.

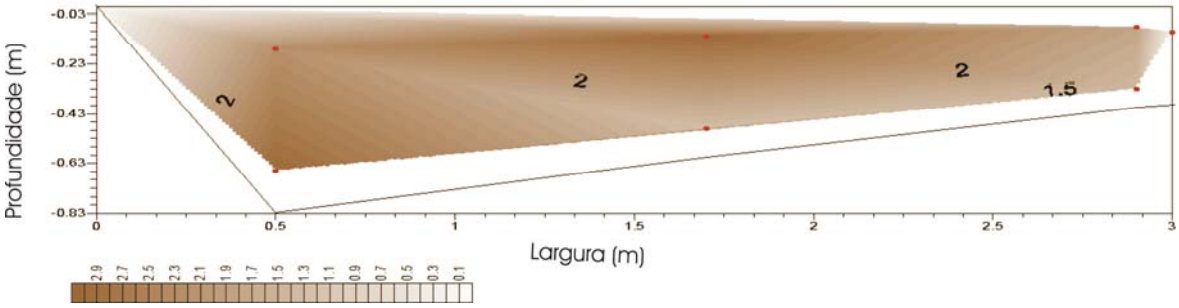

Figura A. 1– Isovalores de concentração (mg/L) para a seção da estação do ribeirão Chapadinha.

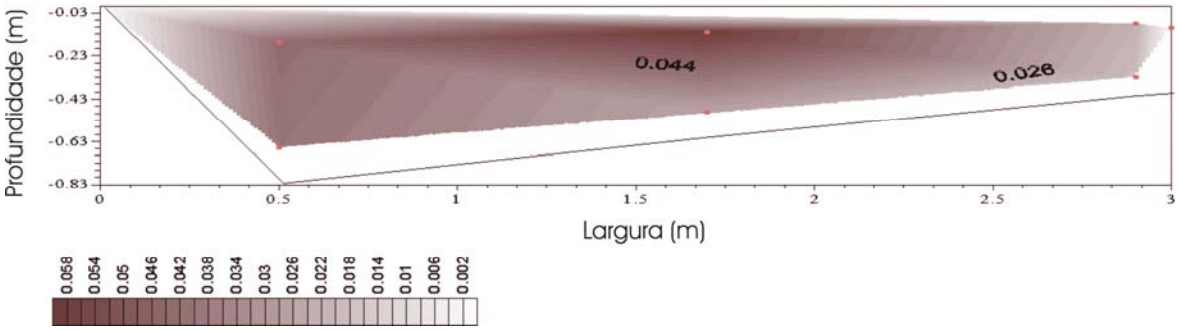

Figura A. 2 – Isovalores de velocidade (m/s) para a seção da estação do ribeirão Chapadinha.

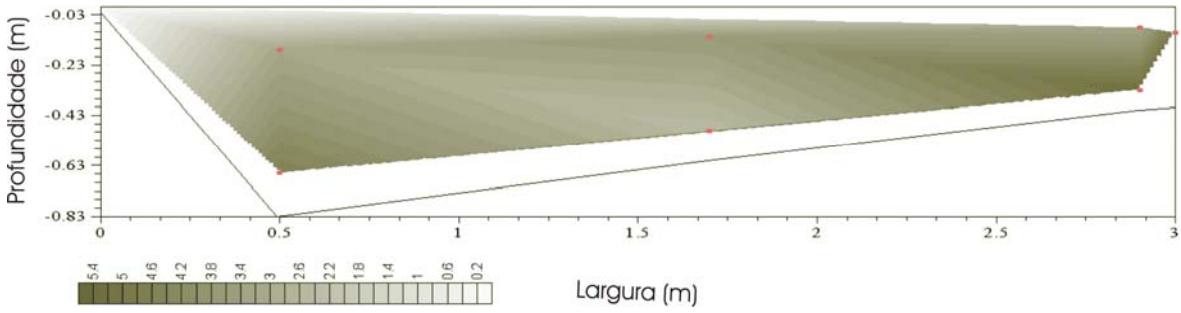

Figura A. 3 – Isovalores de turbidez (u.t) para a seção da estação do ribeirão Chapadinha.

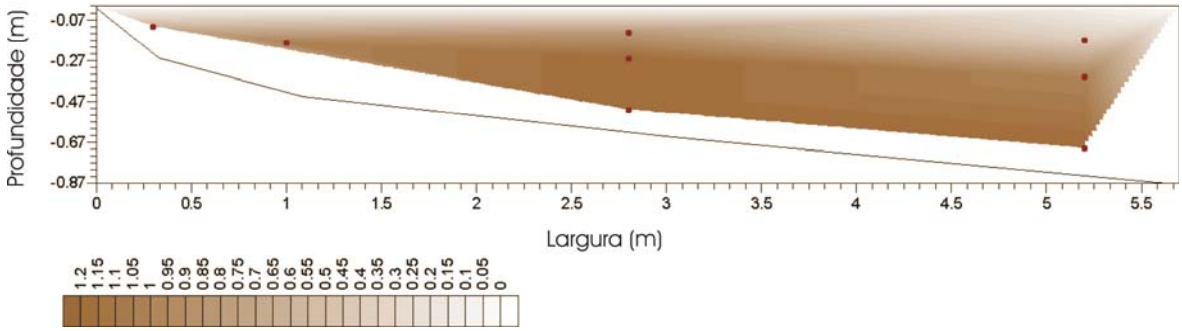

Figura A. 4 – Isovalores de concentração (mg/L) para a seção da estação do ribeirão das Pedras.

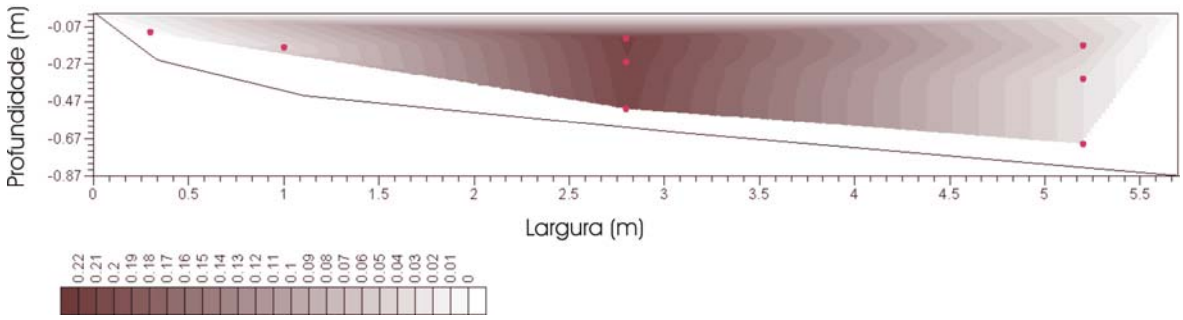

Figura A. 5 – Isovalores de velocidade (m/s) para a seção da estação do ribeirão das Pedras.

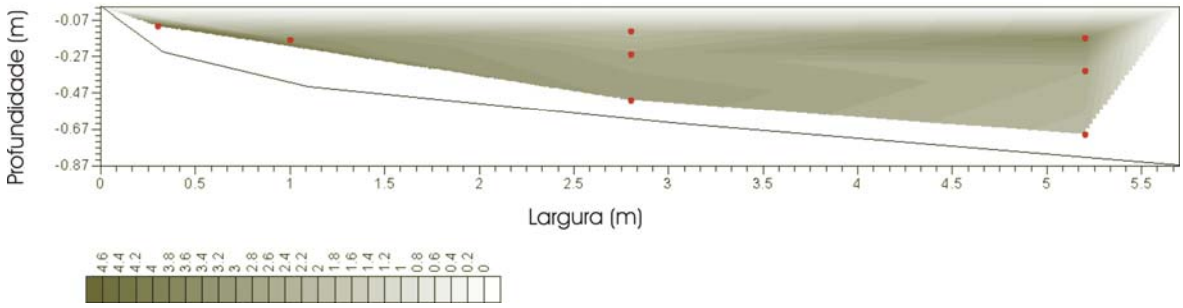

Figura A. 6 – Isovalores de turbidez (u.t) para a seção da estação do ribeirão das Pedras.

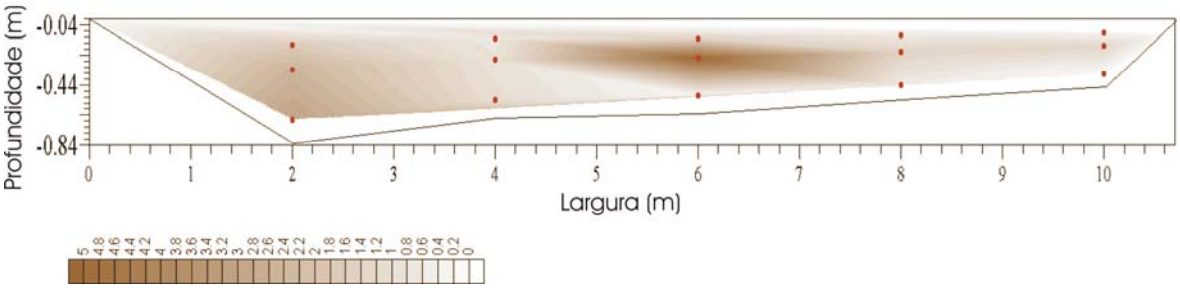

Figura A. 7 – Isovalores de concentração (mg/L) para a seção da estação do rio Descoberto – Montante Melchior.

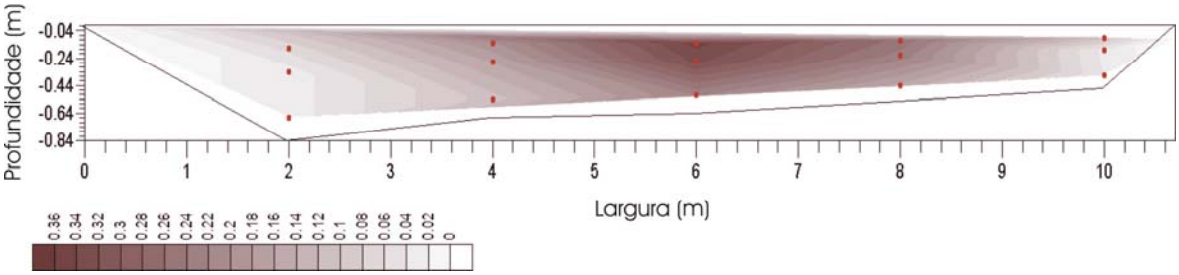

Figura A. 8 – Isovalores de velocidade (m/s) para a seção da estação do Descoberto – Montante Melchior.

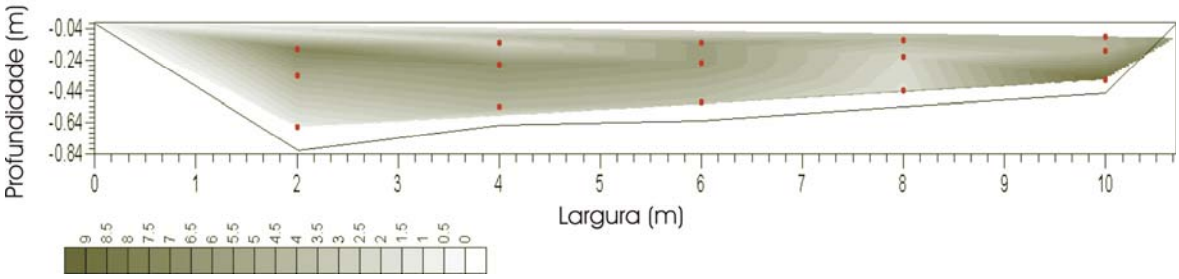

Figura A. 9 – Isovalores de turbidez (u.t) para a seção da estação do rio Descoberto – Montante Melchior.

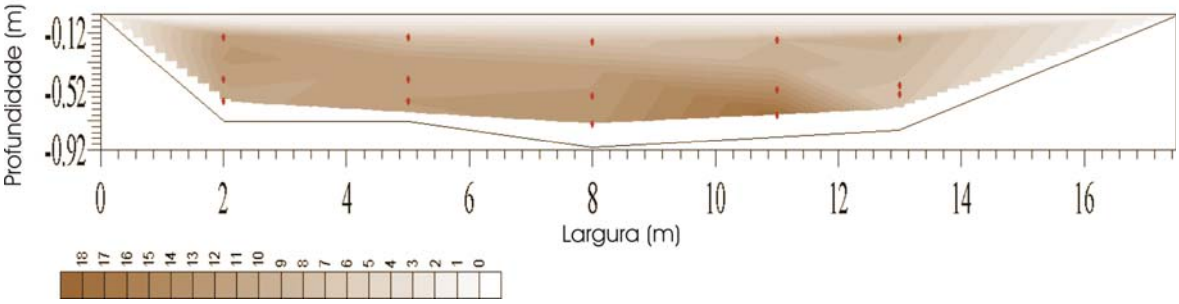

Figura A. 10 – Isovalores de concentração (mg/L) para a seção da estação do rio Descoberto – Sete curvas.

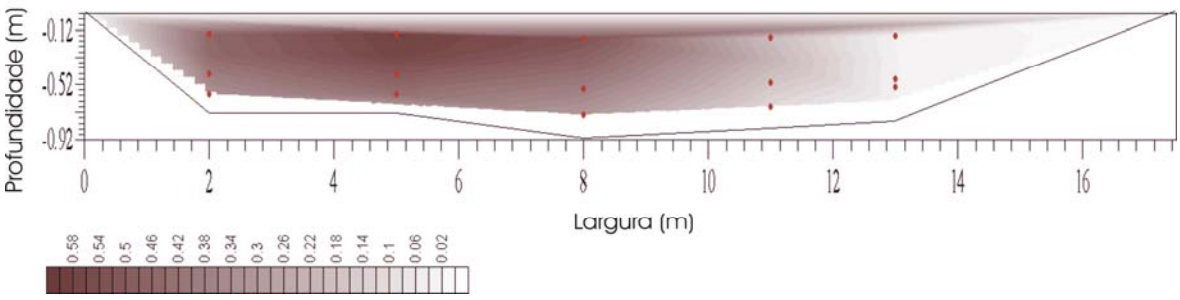

Figura A. 11 – Isovalores de velocidade (m/s) para a seção da estação do rio Descoberto – Sete curvas.

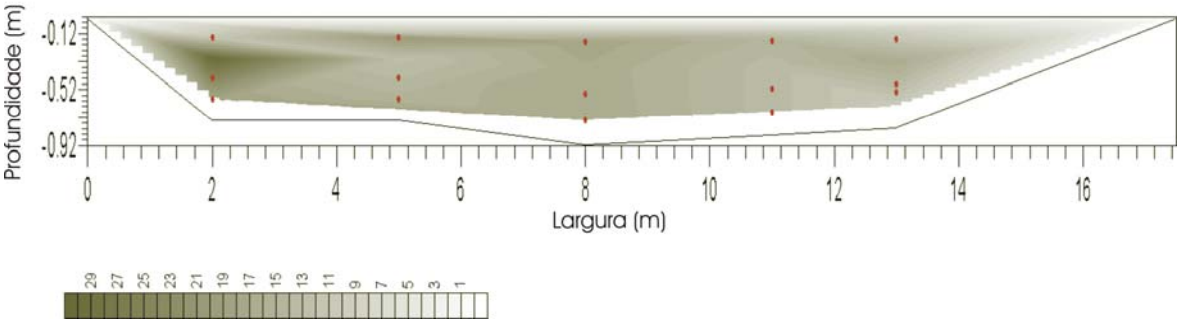

Figura A. 12 – Isovalores de turbidez (u.t.) para a seção da estação do rio Descoberto – Sete curvas.

APENDICE B – RESUMO DE MEDIÇÃO DE DESCARGA SÓLIDA

Capão Comprido

Data	Cota	Vazão Calculada (m^3/s)	Vazão Medida (m^3/s)	Vazão (m^3/s)	Velocidade Média (m/s)	Área (m^2)	Largura (m)	Profundidade Média (m)	Concentração (mg/L)	Sólidos Susp. (mg/L)	Turbidez (u.t)	Descarga Sólida Susp. (t/dia)	Descarga Sólida Total(t/dia)
9/6/2005	1,59	0,226	-	0,226	0,276	0,817	2,72	0,35	10,798	-	-	0,211	0,66
8/7/2005	1,56	0,196	-	0,196	0,264	0,741	2,64	0,35	10,543	2,000	2,800	0,178	0,56
25/8/2005	1,50	0,146	0,140	0,140	0,231	0,605	2,65	0,29	6,800	2,000	3,060	0,082	0,29
22/9/2005	1,36	0,070	-	0,070	0,192	0,365	2,65	0,16	5,389	0,656	1,490	0,033	0,13
27/10/2005	1,32	0,056	0,048	0,048	0,153	0,313	2,57	0,28	1,02	1,00	1,45	0,004	0,03
19/12/2005	1,51	0,237	0,309	0,309	0,493	0,626	2,65	0,28	17,27	5,60	11,5	0,461	2,63
2/2/2006	1,41	0,127	-	0,127	0,290	0,440	2,68	0,32	11,33	3,20	5,2	0,125	0,62

Córrego Chapadinha

Data	Cota	Vazão Calculada (m^3/s)	Vazão Medida (m^3/s)	Vazão (m^3/s)	Velocidade Média (m/s)	Área (m^2)	Largura (m)	Profundidade Média (m)	Concentração (mg/L)	Sólidos Susp. (mg/L)	Turbidez (u.t)	Descarga Sólida Susp. (t/dia)	Descarga Sólida Total(t/dia)
9/6/2005	1,96	0,391	-	0,391	0,189	2,072	4,80	0,81	9,286	5,200	-	0,314	0,72
8/7/2005	1,90	0,287	-	0,287	0,153	1,883	3,40	0,81	7,590	3,200	7,60	0,189	0,34
25/8/2005	1,80	0,168	0,240	0,240	0,151	1,594	3,30	0,70	5,155	1,500	-	0,107	0,22
22/9/2005	1,86	0,233	-	0,233	0,132	1,763	3,52	0,76	7,133	2,660	3,21	0,143	0,25
27/10/2005	1,79	0,159	0,088	0,088	0,056	1,567	3,20	0,55	1,220	0,20	4,90	0,009	0,01
19/12/2005	2,00	0,443	0,434	0,434	0,197	2,204	3,50	0,80	12,477	6,80	10,50	0,468	0,84
2/2/2006	1,89	0,309	-	0,309	0,167	1,852	3,15	0,82	7,974	6,00	10,50	0,213	0,40

Rio Descoberto - Estação Montante Barragem

Data	Cota	Vazão Calculada (m^3/s)	Vazão Medida (m^3/s)	Vazão (m^3/s)	Velocidade Média (m/s)	Área (m^2)	Largura (m)	Profundidade Média (m)	Concentração (mg/L)	Sólidos Susp. (mg/L)	Turbidez (u.t)	Descarga Sólida Susp. (t/dia)	Descarga Sólida Total(t/dia)
9/6/2005	0,83	1,806	-	1,806	0,498	3,626	9,00	0,37	11,150	5,200	-	1,740	8,47
8/7/2005	0,76	1,290	-	1,290	0,425	3,038	9,09	0,37	10,995	3,200	7,700	1,225	5,76
25/8/2005	0,70	0,942	1,16	1,160	0,450	2,575	8,94	0,31	5,889	1,800	3,890	0,590	4,18
22/9/2005	0,64	0,669	-	0,669	0,311	2,151	9,07	0,25	4,895	1,651	1,651	0,283	1,49
27/10/2005	0,59	0,490	0,29	0,29	0,159	1,827	10,80	0,56	3,80	4,80	4,19	0,095	0,43
19/12/2005	0,90	2,461	3,121	3,121	0,731	4,267	9,00	0,51	19,77	12,80	16,6	5,331	30,86
2/2/2006	0,86	2,069	-	2,069	0,531	3,894	9,10	0,52	39,42	25,80	53,7	7,047	23,45

Ribeirão das Pedras

Data	Cota	Vazão Calculada (m^3/s)	Vazão Medida (m^3/s)	Vazão (m^3/s)	Velocidade Média (m/s)	Área (m^2)	Largura (m)	Profundidade Média (m)	Concentração (mg/L)	Sólidos Susp. (mg/L)	Turbidez (u.t)	Descarga Sólida Susp. (t/dia)	Descarga Sólida Total(t/dia)
9/6/2005	0,65	1,123	-	1,123	0,340	3,307	5,60	0,81	9,938	2,400	-	0,965	2,990
8/7/2005	0,61	0,953	-	0,953	0,306	3,110	5,60	0,81	9,842	2,000	3,58	0,810	2,370
25/8/2005	0,57	0,799	0,950	0,950	0,326	2,912	5,50	0,76	9,702	2,000	3,58	0,796	2,530
22/9/2005	0,54	0,695	-	0,695	0,251	2,764	5,50	0,67	4,519	0,463	1,59	0,271	0,880
26/10/2005	0,48	0,512	0,515	0,515	0,209	2,466	5,70	0,56	1,029	0,600	4,51	0,046	0,230
19/12/2005	0,87	2,392	2,130	2,130	0,486	4,383	6,10	1,04	24,154	24,400	29,10	4,445	12,420
1/2/2006	0,79	1,863	-	1,863	0,467	3,993	6,20	0,95	8,646	8,098	12,50	1,391	6,190

Rio Descoberto - Montante Melchior

Data	Cota	Vazão Calculada (m^3/s)	Vazão Medida (m^3/s)	Vazão (m^3/s)	Velocidade Média (m/s)	Área (m^2)	Largura (m)	Profundidade Média (m)	Concentração (mg/L)	Sólidos Susp. (mg/L)	Turbidez (u.t)	Descarga Sólida Susp. (t/dia)	Descarga Sólida Total(t/dia)
10/6/2005	0,93	4,025	-	4,025	0,464	8,671	11,70	1,02	8,494	4,400	-	2,954	12,01
8/7/2005	0,71	2,424	-	2,424	0,373	6,507	11,50	0,83	7,285	0,800	-	1,526	6,06
24/8/2005	0,58	1,658	1,160	1,160	0,221	5,248	11,31	0,72	13,328	7,600	8,31	1,336	2,91
22/9/2005	0,56	1,552	-	1,552	0,307	5,056	11,10	0,69	8,173	2,867	1,19	1,096	3,79
26/10/2005	0,52	1,350	0,954	0,954	0,204	4,672	10,80	0,56	1,626	0,87	6,27	0,134	0,54
20/12/2005	1,53	10,257	11,529	11,529	0,783	14,725	12,30	1,69	43,884	43,00	48,50	43,714	130,75
31/1/2006	1,14	5,901	4,780	4,780	0,444	10,768	11,70	1,24	27,939	19,20	32,50	11,539	27,09

Rio Descoberto 7 Curvas

Data	Cota	Vazão Calculada (m^3/s)	Vazão Medida (m^3/s)	Vazão (m^3/s)	Velocidade Média (m/s)	Área (m^2)	Largura (m)	Profundidade Média (m)	Concentração (mg/L)	Sólidos Susp. (mg/L)	Turbidez (u.t)	Descarga Sólida Susp. (t/dia)	Descarga Sólida Total(t/dia)
10/6/2005	0,72	8,245	-	8,245	0,514	16,030	17,00	1,31	17,848	-	-	12,714	39,12
8/7/2005	0,61	6,216	-	6,216	0,466	13,331	18,00	1,13	24,340	-	-	13,071	37,32
24/8/2005	0,58	5,704	5,110	5,110	0,405	12,604	17,00	1,11	22,849	19,80	15,60	10,088	25,84
22/9/2005	0,55	5,210	3,964	3,964	0,334	11,881	17,34	0,92	26,521	11,88	7,44	9,083	19,16
26/10/2005	0,51	4,581	4,180	4,180	0,383	10,923	17,50	0,69	10,451	11,52	11,20	3,774	11,98
20/12/2005	1,35	24,066	23,575	23,575	0,731	32,255	19,00	1,68	251,071	422,60	501,00	511,403	774,83
31/1/2006	1,10	16,976	13,120	13,120	0,511	25,685	18,30	1,39	117,693	133,00	133,00	133,413	204,22

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo