Campus de São Carlos

**SUBSÍDIOS AO PLANEJAMENTO DO USO E
OCUPAÇÃO DO SOLO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO
RESERVATÓRIO DE VOLTA GRANDE (MG), VISANDO
À MANUTENÇÃO DOS SEUS USOS MÚLTIPLOS.**

Márcio Augusto de Sousa Nogueira

Orientador: Profª Dra. Maria Lúcia Calijuri

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

**SUBSÍDIOS AO PLANEJAMENTO DO USO E
OCUPAÇÃO DO SOLO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO
RESERVATÓRIO DE VOLTA GRANDE (MG),
VISANDO À MANUTENÇÃO DOS SEUS USOS
MÚLTIPLOS.**

Márcio Augusto de Sousa Nogueira

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental

ORIENTADOR: Profª Dra. Maria Lúcia Calijuri

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Ass.:
Data de entrada no Serviço: 21/12/01

Guilherme

DEDALUS - Acervo - EESC

31100036835

São Carlos/SP

2001

Class.	TESE-EESC
Cutt.	13932 ✓
Tombo	T0012/02

st 1220318

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

N778s Nogueira, Márcio Augusto de Sousa
Subsídios ao planejamento do uso e ocupação do solo
da área de influência do reservatório de Volta Grande
(MG), visando à manutenção dos seus usos múltiplos /
Márcio Augusto de Sousa Nogueira. -- São Carlos, 2001.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2001.
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.
Orientador: Profa. Dra. Maria Lúcia Calijuri.

1. Reservatório. 2. Assoreamento. 3. Qualidade da
água. 4. Avaliação multi-critério. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **MARCIO AUGUSTO DE SOUSA NOGUEIRA**

Tese defendida e julgada em 13-11-2001 perante a Comissão Julgadora:

Profa. Tit. **MARIA LUCIA CALBURI (Orientadora)**
(Universidade Federal de Viçosa - UFV)

Aprovado

Prof. Dr. **LUIZ ANTONIO DANIEL**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Tit. **JOSÉ EDUARDO RODRIGUES**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI**
(Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP)

Aprovado

Prof. Dr. **JOÃO SERGIO CORDEIRO**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)

Aprovado

Prof. Doutor **EVALDO LUIZ GATTA ESPINDOLA**,
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Engenharia Ambiental

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

DEDICO

*aos meus filhos Álvaro Neto e Natália,
bênçãos de Deus em minha vida.*

OFEREÇO

*a minha esposa ÂNGELA,
luz do meu caminho.*

AGRADECIMENTOS

À Professora Maria Lúcia Calijuri pela amizade, confiança, ensinamentos e dedicação na orientação e desenvolvimento deste trabalho. Muito mais que um orientador em busca do avanço científico, verdadeira amiga.

À Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), por oferecer a infraestrutura, sem o qual este trabalho não seria concretizado, o meu profundo agradecimento.

Ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA/EESC), pelo suporte técnico.

À Universidade de Uberaba (UNIUBE), pelas condições de trabalho ofertadas durante a realização do projeto.

Ao prof. Dr. Evaldo Luiz Gaeta Espindola, pelos conselhos e informações científicas que muito contribuíram para o trabalho, também um grande amigo.

Aos técnicos da UHE-Volta Grande: Norma Dulce, Alberto Zerlotini, José Ricardo, Rubens e Sônia, pelo agradável convívio nos últimos quatro anos.

Aos técnicos do CRHEA: Marcelo, Amândio e Luci, pela ajuda no trabalhos de laboratório e de campo.

À secretária do CRHEA: Claudete Poianas, pela atenção em todos os momentos e amizade.

Aos professores do Instituto de Ciências e Tecnologia do Ambiente da UNIUBE, pela amizade e incentivo nas horas difíceis, o meu sincero agradecimento.

Às amigas, professoras Maria Tutchi e Irmã Maria de Loreto, pela presença constante na realização deste trabalho.

Ao professor Alberto Carvalho, pela amizade e sugestões na área agrônômica.

Aos amigos e companheiros de trabalho: Rouverson Pereira, Cláudio Nascimento, Marcos Leopoldo, Humberto Ritt, Luís César, André Luis e Lauro Bogniotti, o meu muito obrigado.

À secretária do Laboratório de Geoprocessamento da UNIUBE: Silvânia Borges, pelo incentivo constante na concretização do projeto.

Ao futuro “engenheiro civil” Rodrigo Alves, meu amigo e companheiro durante o período de coletas.

Ao meu grande amigo Leonardo Campos, companheiro nas horas intermináveis de trabalho em geoprocessamento, especial agradecimento pela paciência e constante motivação para a realização de um sonho.

Aos meus familiares que acreditaram em mais uma conquista.

*..... os dias prósperos de minha vida
procederam depois de muita fadiga e perseverança*
(o autor)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	 01
1.1 Introdução.....	01
1.2 Objetivos	03
1.3 Organização e limitações do projeto.....	04
 2. A ÁREA DE ESTUDO.....	 06
2.1 Introdução.....	06
2.2 A Área de influência do reservatório de Volta Grande.....	10
2.2.1 Clima	12
2.2.2 Cobertura Vegetal	12
2.2.3 Solos	26
2.3 O reservatório de Volta Grande.....	31
 3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E SEDIMENTAÇÃO NO RESERVATÓRIO DE VOLTA GRANDE /MG.	 41
3.1 Introdução.....	41
3.2 Sedimentação em reservatórios	43
3.3 O uso das câmaras de sedimentação	47
3.4 Materiais e métodos	49
3.4.1 Estações de coleta e frequência de amostragem	49
3.4.2 Variáveis analisadas	55
3.4.2.1 Variáveis climatológicas.....	55
3.4.2.2 Variáveis físicas e químicas.....	55
3.4.2.2.1 Transparência da água.....	55
3.4.2.2.2 Temperatura da água, Condutividade, Oxigênio dissolvido e pH	56

3.4.2.2.3 Sólidos em suspensão	56
3.4.2.2.4 Nutrientes totais.....	57
3.4.2.3 Taxas de sedimentação de material particulado e totais nas câmaras de sedimentação	58
3.4.2.4. Caracterização dos sedimentos	59
3.5 Resultados	61
3.5.1 Temperatura da água, Condutividade, Oxigênio dissolvido e pH	61
3.5.2 Transparência da água.....	85
3.5.3 Concentrações e taxas de sedimentação de material em suspensão....	91
3.5.3.1 Material em suspensão e suas frações orgânicas e inorgânicas.....	91
3.5.3.2 Taxas de sedimentação total, orgânica e inorgânica nas câmaras de sedimentação	96
3.5.4 Concentrações e taxas de sedimentação de fósforo e nitrogênio total no reservatório.....	99
3.5.4.1 Concentrações de fósforo e nitrogênio total nas câmaras de sedimentação	99
3.5.4.2 Taxas de sedimentação de fósforo e nitrogênio total nas câmaras de sedimentação	106
3.5.5 Caracterização dos sedimentos do fundo no reservatório	108
4 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	114
4.1 Introdução.....	114
4.2 Aplicações de sistemas de informação geográfica	115
4.3 Avaliação multi-critério	118
4.4 Materiais e métodos	133
4.4.1 Descrição do material.....	133
4.4.2 Métodos	134
4.4.2.1 Fatores associados à perda de solo na área de influência do reservatório.....	137
4.4.2.1.1 Fator cobertura vegetal e uso do solo	137
4.4.2.1.2 Fator declividade para mecanização	138

4.4.2.1.3 Fator declividade	138
4.4.2.1.4 Fator tipos de solo.....	139
4.4.2.1.5 Combinação de fatores associados à perda de solo	145
4.4.2.2 Fatores associados ao assoreamento na área de influência do reservatório.....	150
4.4.2.2.1 Fator assoreamento	150
4.4.2.2.2 Fator distância da hidrografia.....	150
4.4.2.2.3 Fator declividade para assoreamento da área de influência	151
4.4.2.2.4 Fator cobertura vegetal e uso do solo	151
4.4.2.2.5 Fator tipos de solo.....	151
4.4.2.2.6 Combinação de fatores associados ao assoreamento na área de influência do reservatório	155
4.4.2.3 Fatores associados ao assoreamento no reservatório	160
4.4.2.3.1 Fator declividade da área submersa.....	160
4.4.2.3.2 Fator assoreamento	160
4.4.2.3.3 Fator distância do rio Grande	161
4.4.2.3.4 Fator vegetação inundada.....	161
4.4.2.3.5 Combinação de fatores associados ao assoreamento no reservatório	167
5. CONCLUSÕES.....	172
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	174

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Localização do reservatório da UHE-Volta Grande/CEMIG.....	06
FIGURA 02 - Solo preparado para plantio na margem mineira, recuperação de áreas de pastagem, outubro de 1997, fonte CEMIG/MG	09
FIGURA 03 - Área recém plantada com capim “Elefante” na margem mineira do reservatório, outubro de 1997, fonte CEMIG/MG.....	10
FIGURA 04 - Carta imagem da área de influência da UHE-Volta Grande	11
FIGURA 05 - Diagrama de perfil (1) e cobertura arbórea (2) de um Cerrado Típico representando uma faixa de 40 m de comprimento por 10 m de largura.	14
FIGURA 06 - Diagrama de perfil (1) e cobertura arbórea (2) de uma Mata Ciliar representando uma faixa de 80 m de comprimento por 4 m de largura nos períodos seco (maio a setembro) e chuvoso (outubro a abril).	15
FIGURA 07 - Diagrama de perfil (1) e cobertura arbórea (2) de uma Mata de Galeria não Inundável representando uma faixa de 80 m de comprimento por 10m de largura.	16
FIGURA 08 - Diagrama de perfil (1) e cobertura arbórea (2) de uma Mata de Galeria Inundável representando uma faixa de 80 m de comprimento por 10m de largura.	17
FIGURA 09 - Diagrama de perfil (1) e cobertura arbórea (2) de três Matas Secas, em diferentes épocas do ano, representando faixas com cerca de 26 m de comprimento por 10 m da largura cada. CA: Cobertura arbórea em %. O trecho do lado esquerdo (A) representa uma Mata Seca Sempre-Verde; o trecho do meio (B) uma Mata Seca Semidecídua e (C) o trecho do lado direito uma Mata Seca Decídua, com afloramentos de rocha.	18
FIGURA 10 - Diagrama de perfil (1) e cobertura arbórea (2) de um Cerradão representando uma faixa de 80 m de comprimento por 10 m de largura.....	19
FIGURA 11 - Mapa de cobertura vegetal e uso do solo do ano 1965, período que antecede à construção da barragem de Volta Grande /MG.	24
FIGURA 12 - Mapa de cobertura vegetal e uso do solo do ano 1999 na área de influência do reservatório de Volta Grande/MG.	25
FIGURA 13 - Mapa de solos da área de influência do reservatório de Volta Grande/MG....	30
FIGURA 14 - Mapa reservatório de Volta Grande, principais afluentes e limite de municípios	32
FIGURA 15 - Reservatório de Volta Grande: margem paulista – área agrícola irrigada, março/1999, Miguelópolis/SP	34

FIGURA 16 - Reservatório de Volta Grande: margem paulista – área de cana-de-açúcar, março/1999, Miguelópolis/SP.....	34
FIGURA 17 - Reservatório de Volta Grande: margem mineira – área de pastagem, setembro/1998, Água Comprida/MG.....	35
FIGURA 18 - Reservatório de Volta Grande: margem mineira – área de pastagem, setembro/1999, Água Comprida/MG.....	35
FIGURA 19 - Reservatório de Volta Grande: margem paulista – mata ciliar degradada, setembro/1999, Miguelópolis/SP.....	36
FIGURA 20 - Reservatório de Volta Grande: margem paulista – solo exposto em área de cana-de-açúcar, setembro/1999, Miguelópolis/SP.....	36
FIGURA 21 - Valores médios mensais de precipitação (mm) e evaporação (mm) no ano de 1999, no reservatório de Volta Grande/(MG).....	38
FIGURA 22 - Valores médios mensais de temperatura do ar (°C), ano de 1999, no reservatório da UHE-Volta Grande CEMIG/(MG).....	39
FIGURA 23 - Valores médios mensais de umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (Km/h), no reservatório da UHE-Volta Grande CEMIG/(MG), 1999.....	40
FIGURA 24 - Mapa estações de coleta: qualidade de água	51
FIGURA 25 - Mapa estações de coleta: qualidade de água e taxas de sedimentação.....	53
FIGURA 26 - Montagem das câmaras de sedimentação utilizadas nas coletas das Etapas 2 e 3.....	54
FIGURA 27 - Câmaras de sedimentação com material particulado após período de incubação de 48 horas	54
FIGURA 28 - Mapa estações de coleta de sedimento do fundo no reservatório de Volta Grande/MG.....	60
FIGURA 29 - Transparência do disco de Secchi, em metros, nas estações de coleta no início e término do período de exposição das câmaras de sedimentação, março/1999	89
FIGURA 30 - Transparência do disco de Secchi, em metros, nas estações de coleta no início e término do período de exposição das câmaras de sedimentação, junho/1999	89
FIGURA 31 - Transparência do disco de Secchi, em metros, nas estações de coleta no início e término do período de exposição das câmaras de sedimentação, agosto/1999	90
FIGURA 32 - Transparência do disco de Secchi, em metros, nas estações de coleta no início e término do período de exposição das câmaras de sedimentação, novembro/1999	90

FIGURA 33 - Concentrações de material em suspensão total (M.S.T), orgânico(M.S.O) e inorgânico (M.S.I) obtidas nas estações de coleta na superfície (02/março) e a 70% da profundidade local (04/março) em amostras de água das câmaras de sedimentação.....	93
FIGURA 34 - Concentrações de material em suspensão total (M.S.T), orgânico(M.S.O) e inorgânico (M.S.I) obtidas nas estações de coleta na superfície (28/junho) e a 70% da profundidade local (30/junho) em amostras de água das câmaras de sedimentação.....	94
FIGURA 35 - Concentrações de material em suspensão total (M.S.T), orgânico(M.S.O) e inorgânico (M.S.I) obtidas nas estações de coleta na superfície (29/agosto) e a 70% da profundidade local (31/agosto) em amostras de água das câmaras de sedimentação	95
FIGURA 36 - Concentrações de material em suspensão total (M.S.T), orgânico(M.S.O) e inorgânico (M.S.I) obtidas nas estações de coleta na superfície (17/novembro) e a 70% da profundidade local (19/novembro) em amostras de água das câmaras de sedimentação	96
FIGURA 37 - Taxas de sedimentação do material em suspensão e suas frações orgânicas e inorgânicas, em mg/cm ² .dia, nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 02 a 04/março/1999	97
FIGURA 38 - Taxas de sedimentação do material em suspensão e suas frações orgânicas e inorgânicas, em mg/ cm ² .dia, nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 28 a 30/junho/1999	98
FIGURA 39 - Taxas de sedimentação do material em suspensão e suas frações orgânicas e inorgânicas, em mg/ cm ² .dia, nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 29 a 31/agosto/1999	98
FIGURA 40 - Taxas de sedimentação do material em suspensão e suas frações orgânicas e inorgânicas, em mg/ cm ² .dia, nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 17 a 19/novembro/1999	99
FIGURA 41 - Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta na superfície (02/março) e em amostras de água das câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local (04/março)	102
FIGURA 42 - Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta na superfície (28/junho) e em amostras de água das câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local (30/junho)	103
FIGURA 43 - Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta na superfície (29/agosto) e em amostras de água das câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local (31/agosto).....	104
FIGURA 44 - Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta na superfície (17/novembro) e em amostras de água das câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local (19/novembro).....	105

FIGURA 45 - Taxas de sedimentação de fósforo($\text{ug}/\text{cm}^2.\text{dia}$) e nitrogênio total ($\text{mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$), nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 02 a 04/março/1999	107
FIGURA 46 - Taxas de sedimentação de fósforo($\text{ug}/\text{cm}^2.\text{dia}$) e nitrogênio total ($\text{mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$), nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 28 a 30/junho/1999	107
FIGURA 47 - Taxas de sedimentação de fósforo($\text{ug}/\text{cm}^2.\text{dia}$) e nitrogênio total ($\text{mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$), nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 29 a 31/agosto/1999	108
FIGURA 48 - Taxas de sedimentação de fósforo($\text{ug}/\text{cm}^2.\text{dia}$) e nitrogênio total ($\text{mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$), nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 17 a 19/novembro/1999	108
FIGURA 49 - Funções Fuzzy Sigmoidal	122
FIGURA 50 - Funções Fuzzy J	123
FIGURA 51 - Funções Fuzzy Linear	124
FIGURA 52 - Escala de combinação de critérios	127
FIGURA 53 - Espaço estratégico de decisão	130
FIGURA 54 - Mapa de fator uso do solo na área da UHE-Volta Grande - uso da terra 1999	141
FIGURA 55 - Mapa de fator declividade para mecanização na área da UHE - Volta Grande	142
FIGURA 56 - Mapa de fator declividade na área da UHE-Volta Grande	143
FIGURA 57 - Mapa de fator tipos de solo na área da UHE-Volta Grande	144
FIGURA 58 - Mapa tipos de avaliação para a perda de solo na área da UHE-Volta Grande	147
FIGURA 59 - Carta de risco potencial de perda de solo na área da UHE-Volta Grande	149
FIGURA 60 - Mapa de fator assoreamento na área da UHE-Volta Grande	152
FIGURA 61 - Mapa de fator distância da hidrografia na área da UHE-Volta Grande	153
FIGURA 62 - Mapa de fator declividade na área da UHE-Volta Grande	154
FIGURA 63 - Mapa tipos de avaliação para assoreamento da hidrografia na área da UHE-Volta Grande	158

FIGURA 64 - Carta de risco potencial de assoreamento na hidrografia da UHE-Volta Grande.....	159
FIGURA 65 - Mapa de fator declividade no reservatório da UHE-Volta Grande.....	163
FIGURA 66 - Mapa de fator assoreamento no reservatório da UHE-Volta Grande.....	164
FIGURA 67 - Mapa de fator distância do rio Grande no reservatório da UHE-Volta Grande.....	165
FIGURA 68 - Mapa de fator vegetação inundada no reservatório da UHE Volta Grande .	166
FIGURA 69 - Mapa tipos de avaliação para assoreamento no reservatório da UHE-Volta Grande.....	170
FIGURA 70 - Carta de risco potencial de assoreamento no reservatório da UHE-Volta Grande.....	171

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Classe de cobertura vegetal e uso do solo de 1965 na área de influência do reservatório de Volta Grande/MG	21
TABELA 02 - Classe de cobertura vegetal e uso do solo de 1999 na área de influência do reservatório de Volta Grande/MG	22
TABELA 03 - Classes de cobertura vegetal e usos do solo de 1965 e 1999 na área de influência do reservatório de Volta Grande/MG	23
TABELA 04 - Valores médios mensais de precipitação (mm), evaporação (mm), temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (km/h), durante o ano de 1999, período de coleta no reservatório de Volta Grande/MG	37
TABELA 05 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 02/março/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01	62
TABELA 06 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 04/março/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01.....	62
TABELA 07 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 02/março/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02	63
TABELA 08 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 04/março/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02	64
TABELA 09 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 02/março/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04	65
TABELA 10 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 04/março/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04	66
TABELA 11- Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 28/junho/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01	68
TABELA 12 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 30/junho/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01	68
TABELA 13 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 28/junho/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02.	69
TABELA 14 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 30/junho/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02	70

TABELA 15 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 28/junho/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04	72
TABELA 16 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 30/junho/1999 término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.	73
TABELA 17 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 29/agosto/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01	74
TABELA 18 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 31/agosto/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01	74
TABELA 19 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 29/agosto/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02.	75
TABELA 20 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 31/agosto/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02.	76
TABELA 21 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 29/agosto/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.	77
TABELA 22 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 31/agosto/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.	78
TABELA 23 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 17/novembro/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01.	80
TABELA 24 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 19/novembro/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01.	80
TABELA 25 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 17/novembro/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02.	81
TABELA 26- Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 19/novembro/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02	82
TABELA 27 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 17/novembro/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.	83

TABELA 28 - Valores de pH, condutividade (uS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 19/novembro/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.	84
TABELA 29- Transparência da coluna de água, em metros, nas estações de coleta no período experimental de 02 a 04/março/1999.	86
TABELA 30- Transparência da coluna de água, em metros, nas estações de coleta no período experimental de 29 a 30/junho/1999.	88
TABELA 31 - Transparência da coluna de água, em metros, nas estações de coleta no período experimental de 29 a 31/agosto/1999.	88
TABELA 32 - Transparência da coluna de água, em metros, nas estações de coleta no período experimental de 17 a 19/novembro/1999.	89
TABELA 33- Concentrações de material em suspensão total (M.S.T.), orgânico (M.S.O.) e inorgânico (M.S.I.) em (mg.L ⁻¹) obtidas nas estações de coleta no período experimental de 02 a 04/março/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.	92
TABELA 34 - Concentrações de material em suspensão total (M.S.T.), orgânico (M.S.O.) e inorgânico (M.S.I.) em (mg.L ⁻¹) obtidas nas estações de coleta no período experimental de 28 a 30/junho/1999, na superfície (início) e 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.	93
TABELA 35 - Concentrações de material em suspensão total (M.S.T.), orgânico (M.S.O.) e inorgânico (M.S.I.) em (mg.L ⁻¹) obtidas nas estações de coleta no período experimental de 29 a 31/agosto/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.	94
TABELA 36- Concentrações de material em suspensão total (M.S.T.), orgânico (M.S.O.) e inorgânico (M.S.I.) em (mg.L ⁻¹) obtidas nas estações de coleta no período experimental de 17 a 19/novembro/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.	95
TABELA 37 - Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta no período experimental de 02 a 04/março/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.	102
TABELA 38- Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta no período experimental de 28 a 30/junho/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.	103
TABELA 39 - Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta no período experimental de 29 a 31/agosto/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.	104
TABELA 40- Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta no período experimental de 17 a 19 /novembro/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.	105

TABELA 41 - Teores totais de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, matéria orgânica e pH do sedimento de fundo do reservatório, na margem paulista, em 30/agosto/1999.....	110
TABELA 42 - Teores totais de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, matéria orgânica e pH do sedimento de fundo do reservatório, na margem mineira, em 30/agosto/1999.....	111
TABELA 43 - Resultados das análises granulométricas do sedimento do fundo do reservatório, na margem paulista, em 30/agosto/1999.....	112
TABELA 44 - Resultados das análises granulométricas do sedimento do fundo do reservatório, na margem mineira, em 30/agosto/1999	113
TABELA 45 - Matriz de comparação par a par entre os fatores para a definição do grau de vulnerabilidade à perda de solo.	146
TABELA 46 - Pesos calculados para a análise de vulnerabilidade à perda de solo	146
TABELA 47 - Distribuição dos pesos ordenados e tipos de avaliação para perda de solo ..	146
TABELA 48 - Distribuição do grau de vulnerabilidade à perda de solo da área de influência do reservatório.	148
TABELA 49 - Matriz de comparação entre os fatores para a definição do grau potencial de assoreamento nos mananciais superficiais	155
TABELA 50 - Pesos calculados para os fatores na análise de vulnerabilidade ao assoreamento dos mananciais superficiais	156
TABELA 51 - Distribuição dos pesos ordenados e tipos de avaliação para o assoreamento dos mananciais superficiais	156
TABELA 52 - Distribuição do grau de vulnerabilidade ao assoreamento dos mananciais superficiais.....	156
TABELA 53- Matriz de comparação entre os fatores para a definição do potencial de assoreamento no reservatório	167
TABELA 54 - Pesos calculados para cada fator na análise de vulnerabilidade ao assoreamento	167
TABELA 55 - Distribuição dos pesos ordenados e tipos de avaliação para assoreamento no reservatório.....	168
Tabela 56 - Distribuição do grau de vulnerabilidade ao assoreamento no reservatório.....	169

RESUMO

NOGUEIRA, M.A.S. (2001). Subsídios ao planejamento do uso e ocupação do solo da área de influência do reservatório de Volta Grande (MG), visando à manutenção dos seus usos múltiplos. São Carlos, 2001. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho apresenta um diagnóstico preliminar do aporte de sedimentos ao reservatório da Usina Hidrelétrica de Volta Grande (MG), oferecendo subsídios ao planejamento do uso e ocupação do solo, visando à manutenção dos usos múltiplos desse reservatório. A geração de cartas temáticas, bem como a distribuição espacial do aporte de sedimentos foram obtidas com a utilização da análise multi-critério. As cartas de risco obtidas, mesmo utilizando diferentes fatores, ressaltam áreas coincidentes de média e alta vulnerabilidade à perda de solo e à sedimentação, indicando, portanto, a necessidade de planejamento para recuperação, conservação e uso racional dos recursos solo e água..

Palavras-chave: reservatório; assoreamento; qualidade da água; avaliação multi-critério.

ABSTRACT

NOGUEIRA, M. A. S. (2001). Subsidies to the planning of use and occupation of the soil in the influential area of Volta Grande Reservoir (MG), aiming at the maintenance of its multiples. São Carlos, 2001. Thesis (Doctorate) – School of Engineering of São Carlos, Universidade de São Paulo.

This work presents a preliminary diagnosis of the sediments silting up the Reservoir of the Hydro-electric Power Station of Volta Grande (MG), offering subsidies to the planning of use and occupation of the soil, aiming at the maintenance of the multiple uses of this reservoir. The development of thematic maps, as well as the area distribution of the sediments silting up, was obtained from the use of the multicriteria analysis. The risk maps obtained, even using different factors, show coincidental areas of medium and high vulnerability to the soil loss and sedimentation, pointing out, therefore, the need of planning to the recovery, conservation and rational use of the soil and water resources.

Key words: reservoir, sedimentation, water quality, multicriteria evaluation.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional provocou o aumento de áreas agrícolas, de cidades, do uso do solo em geral, bem como do aproveitamento dos cursos d'água. Isso tudo acarretou o aumento da erosão nas terras, o transporte sólido nos rios e depósito dos sedimentos nos canais fluviais e reservatórios, portos fluviais e marítimos e na foz dos cursos d'água.

Os diversos usos e ocupações do solo alteram significativamente o regime de escoamento e a qualidade das águas, desencadeando um conjunto de fenômenos com sérios agravos às condições ambientais.

A exposição dos fertilizantes do solo ao transporte, via escoamento superficial, ou devido à lixiviação no perfil do solo, torna-se fonte significativa de poluição. O intensivo uso do solo, submetendo-o à maior mobilização e crescente incorporação de fertilizantes, corretivos e defensivos agrícolas tem provocado a degradação física e a poluição química do sistema água-solo.

Segundo DILLON & KIRCHNER (1975), inúmeros estudos vêm sendo realizados sobre o uso do solo e a exportação de nutrientes. Dentre esses tem sido analisada a relação entre o uso da bacia hidrográfica com aptidão agrícola e a exportação de nitrogênio e fósforo.

Com relação às bacias hidrográficas, onde as microbacias estão contidas, há a preocupação da erosão, do transporte de sedimentos e dos depósitos que provocam

assoreamentos. Segundo CALIJURI (1996), o assoreamento se constitui em um dos grandes impactos da erosão ao meio ambiente, desequilibrando as condições hidráulicas, promovendo enchentes, perdas de capacidade de água, incremento de poluentes químicos e gerando prejuízos para o abastecimento e produção de energia.

A erosão pode ser considerada o fenômeno que melhor expressa a degradação física do solo. As conseqüências da erosão na bacia hidrográfica são: - aumento da quantidade de sedimentos em suspensão e da turbidez nos corpos hídricos; - assoreamento de várzeas, vales, calhas de rios e represas; - perda de fertilizantes, defensivos e corretivos aplicados ao solo; - contaminação dos cursos de água provocando o fenômeno da eutrofização.

Segundo REIS (1995), a produção de sedimentos é resultado da erosão, e portanto depende da intensidade das chuvas, das propriedades físicas e químicas do solo, do relevo e da cobertura vegetal. Conseqüentemente, toda e qualquer ação preventiva de assoreamento de reservatórios deve contemplar medidas de conservação do solo e dos recursos hídricos.

O uso que se faz da bacia hidrográfica terá, portanto, grande incidência sobre o processo de planejamento da sua ocupação e exploração, sob o enfoque da conservação do solo e dos recursos hídricos. As bacias hidrográficas são, em sua maioria heterogêneas, sendo fortemente influenciadas pela atividade humana, que as torna em complexas misturas de tipos de uso da terra, cada uma sujeita a diferentes níveis de distúrbios naturais e antrópicos.

Considerando que a área de influência do reservatório da UHE - Volta Grande (MG) é, por natureza, uma região de aptidão agrícola, o uso impróprio do solo, o desmatamento indiscriminado e a mecanização sem critérios aceleram a erosão e contribuem para o aporte de sedimentos e assoreamento do reservatório.

Há necessidade, portanto, de conhecimento de um grande volume de informações a constituírem-se em dados indispensáveis para a avaliação ambiental e planejamento de áreas com atividades agrícolas e de áreas de preservação, com uso racional dos recursos hídricos., como por exemplo: cobertura vegetal e uso das terras, relevo, solos, clima, hidrografia, expansão da fronteira agrícola, e qualidade dos recursos hídricos.

O tratamento simultâneo dos dados torna-se altamente complexo quando se amplia o conjunto de informações, o número de locais e a frequência de amostragem, sendo indicado o emprego de técnicas matemáticas e computacionais para a avaliação e tomadas de decisão. Esse quadro é um claro indicador de que o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados.

Em função do que foi descrito acima, o reservatório de Volta Grande e sua área de influência são objeto de estudo do presente trabalho de tese, tendo como meta principal a avaliação do uso da terra no ano de 1999, com o intuito de caracterizar as áreas de contribuição para o aporte de sedimentos e avaliar a potencialidade de assoreamento do reservatório.

1.2 OBJETIVOS

Neste trabalho aplicou-se uma metodologia de *análise multi-critério* visando analisar e avaliar o grau de degradação ambiental do Sistema Volta Grande (reservatório e sua área de influência), uma vez que a região passa por profundas transformações em relação ao uso das terras.

As metas do trabalho foram: a análise do processo de sedimentação e a aplicação de Sistemas de Informação Geográfica no estudo das relações entre o processo de uso das terras e potencialidade de assoreamento. Para atingi-las desenvolveu-se as seguintes atividades:

a) Caracterização da área de estudo nos anos: 1965 (anterior à construção da barragem) e 1999 (ano de estudos sobre a qualidade da água no reservatório), em relação à hidrografia, cobertura vegetal e uso do solo para a aplicação de Sistemas de Informação Geográfica;

b) Estimativa das taxas de sedimentação no reservatório quantificando o material sedimentado (orgânico, inorgânico e total) em câmaras de sedimentação, determinando os períodos de maior contribuição e as áreas de maior aporte de material;

- c) Caracterização do sedimento de fundo quanto à fração granulométrica e nutrientes, com ênfase na determinação do fósforo;
- d) Determinação das frações de fósforo total dentro do material sedimentado nas câmaras;
- e) Utilização de análise estratégica de decisão para definir o grau de vulnerabilidade da área de influência do reservatório, com relação à perda de solo em função do uso da terra em 1999;
- f) Utilização de análise estratégica de decisão para estimar áreas de risco potencial de assoreamento no reservatório;

1.3 ORGANIZAÇÃO E LIMITAÇÕES DO PROJETO

A escolha deste reservatório faz parte de uma proposta de pesquisa em parceria com a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) para monitoramento limnológico, levantamento batimétrico e estudos sedimentológicos.

No período das coletas e análises em laboratório contou-se com suporte técnico da equipe do Laboratório de Limnologia do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA).

A organização da tese está compreendida em uma introdução que resume os problemas decorrentes da falta de planejamento integrado entre o uso e ocupação do solo e impactos nos recursos hídricos, seguida dos objetivos e finalizada com a organização e limitações para o desenvolvimento do projeto de pesquisa concluindo o *Capítulo 1*.

No *Capítulo 2* é feita uma caracterização da área de influência do reservatório, enfatizando a cobertura vegetal e uso do solo nos anos de 1965 e 1999, base de dados para os trabalhos de SIG, pedologia e clima (banco de dados do posto pluviométrico da UHE-Volta Grande). O capítulo é finalizado com a descrição do reservatório de acordo com as informações dos relatórios técnicos da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG.

As características físicas e químicas do reservatório, assim como as estimativas das taxas de sedimentação e caracterização do sedimento de fundo estão

analisadas e discutidas no *Capítulo 3*. Uma das limitações do trabalho é o número de estações de coleta para a determinação das taxas de sedimentação e avaliação do perfil longitudinal do material sedimentado, em função da sazonalidade regional no uso da terra e das condições climatológicas. Entretanto, o número mínimo estabelecido foi em função das características do reservatório e do pouco recurso financeiro disponibilizado.

Os mapas temáticos que definiram as áreas de risco potencial de perda de solo na área de influência do reservatório e suas áreas susceptíveis ao assoreamento foram desenvolvidos com a utilização do software Idrisi32 da “The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis”, por meio da análise multicritério, descritos no *Capítulo 4*.

CAPÍTULO 2

A ÁREA DE ESTUDO

2.1 INTRODUÇÃO

Minas Gerais possui uma situação geográfica especial, uma vez que representa o grande divisor de águas das principais bacias hidrográficas brasileiras. Esse fato induz à necessidade de se estabelecerem critérios e procedimentos no sentido de harmonizar a utilização de seus recursos hídricos, em quantidade e qualidade. Minas Gerais caracteriza-se pela existência de um número significativo de bacias com rios de domínio da União, como por exemplo o Rio Grande, divisor dos Estados de São Paulo e Minas Gerais, onde se destaca o Reservatório de Volta Grande, área de estudo do presente trabalho. A Figura 01 apresenta o mapa que localiza o reservatório de Volta Grande no Triângulo Mineiro, entre os Estados de Minas Gerais e São Paulo.

Figura 01 - Localização do reservatório da UHE Volta Grande -CEMIG.

O Estado de Minas Gerais possui uma distribuição variada de disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas que propicia o aparecimento de usos conflitantes da água. No Norte e Nordeste do Estado, e especialmente no chamado polígono das secas, apesar das deficiências hídricas, existe uma densa malha de sistemas de irrigação que transforma o uso dos recursos hídricos em sérios problemas de outorga. Na bacia hidrográfica do Rio Grande pode-se ressaltar a utilização dos recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica e irrigação. Para essa bacia destacam-se ações visando a implementação de planos diretores, por exemplo: Plano Diretor de Irrigação dos Municípios do Baixo Rio Grande – área da bacia hidrográfica em Minas Gerais: 29.000 km², 17 municípios envolvidos, população de 500.000 habitantes.

Na região de Uberaba/MG, Triângulo Mineiro, destacam-se as seguintes usinas hidrelétricas: - Estreito, Jaguará, Igarapava, Volta Grande e Porto Colômbia. Extensas várzeas do Rio Grande, bem como os baixos cursos de todos os seus afluentes na região de Conceição das Alagoas/MG e de Água Comprida/MG e cidades circunvizinhas de Uberaba foram inundadas pelas águas das barragens das usinas hidrelétricas de Volta Grande e de Porto Colômbia.

A área de influência do reservatório de Volta Grande abrange centros urbanos, industriais, áreas agricultáveis e pastagens, englobando dessa forma um conjunto de variáveis potencialmente aceleradoras do processo natural de evolução do estado de trofia do lago formado.

Na década que antecedeu a construção desta hidrelétrica, a área de influência do reservatório caracterizava-se pela existência de agricultura de ciclos curtos, áreas de pastagens, presença de matas ciliares e áreas naturais de cerrados no lado mineiro e, no lado paulista, áreas agrícolas com culturas temporárias e cana-de-açúcar. Após a construção da hidrelétrica um grande número de ilhas desapareceram e outras foram reduzidas em suas dimensões, só aflorando as partes mais elevadas.

Considerando que um reservatório pode atuar como coletor de eventos, e por sua vez, os resultados devido à ocupação e exploração da sua área de drenagem podem ser medidos por meio de respostas dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, justificou adotar-se o Sistema Volta Grande como unidade de estudo em função das seguintes particularidades: - intenso uso do solo para atividades

agropecuárias e de cana-de-açúcar; - existência de usinas de açúcar e álcool à montante do reservatório; - exploração e beneficiamento de fosfato na região; - despejos orgânicos provindos de esgotos urbanos e matadouros, lançados em afluentes do reservatório; - grandes áreas irrigadas; e região de proximidade de usinas hidrelétricas.

O ambiente de estudo denominado de “área de influência do reservatório de Volta Grande” foi formado a partir do represamento do Rio Grande para a construção de uma usina hidrelétrica em 1973 pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, tornando-se parte do complexo de barragens localizadas ao longo deste rio, cuja finalidade principal é a geração de energia elétrica.

O reservatório está inserido na bacia do Médio Rio Grande, a uma altitude de 495 m, distante 40 km de Uberaba-MG, na região do Triângulo Mineiro. O Triângulo Mineiro localiza-se no extremo oeste do Estado de Minas Gerais, fica bem no interior da área de cerrado do Brasil Central, constituindo segundo GOODLAND & FERRI (1979) uma zona bem típica, e não uma caso marginal ou extremo do bioma Cerrado, e trata-se de uma região de 60.000 km² situado entre os rios Paranaíba e Grande, onde os dois, confluindo no vértice do triângulo, formam o Rio Paraná.

Nas margens do reservatório ocorrem problemas de erosão e estão relacionados basicamente às dimensões do braço principal do reservatório, às correntes de ar comuns na região, à falta de uma formação vegetal arbórea e às atividades agropecuárias (Figuras 02 e 03), principalmente as culturas produzidas em escala contínua com emprego de mecanização intensiva em todas as fases do processo produtivo.

Figura 02 - Solo preparado para plantio na margem mineira, recuperação de áreas de pastagem, outubro de 1997, fonte CEMIG/MG.

Esses fatores, atuando em conjunto, favorecem a ocorrência de erosão em diversas propriedades localizadas às margens do reservatório, acarretando perdas de solo expressivas em alguns casos, e também contribuindo para a deterioração da qualidade da água, removendo o solo de uma faixa de terra definida como sendo de preservação permanente e, em alguns casos, comprometendo povoamentos de mata ciliar implantados pelo Programa de Reflorestamento da CEMIG.

Figura 03 - Área recém plantada com capim “Elefante” na margem mineira do reservatório, outubro de 1997, fonte CEMIG/MG.

2.2 A ÁREA DE INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO DE VOLTA GRANDE

A área sob influência do reservatório (Figura 04) foi definida principalmente em função da hidrografia mineira, levando-se em consideração a área compreendida entre os ribeirões Buriti e Ribeirão Ponte Alta.

A área perfaz um total de 2650,12 km², sendo atravessada em toda a sua extensão pelo rio Grande, no sentido leste-oeste, com aproximadamente 27% (720,11 km²) de sua área junto à margem paulista, onde destacam-se os principais afluentes: córregos Matadouro e Penitência, e rio do Carmo, e 73% (1930,00 Km²) na margem mineira com os principais afluentes: ribeirões Buriti e Ponte Alta, córregos Água Comprida e Gameleira. A Figura 14 identifica o reservatório e seus principais afluentes.

CARTA IMAGEM DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA UHE - VOLTA GRANDE, 1999

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande
- Rodovias
- Limite de área urbana
- Hidrografia
- Cota de inundação do Reservatório

NOTA EXPLICATIVA

Carta imagem da área de estudo elaborada a partir do tratamento da imagem do satélite Landsat 5, sensor TM, bandas 3, 4 e 5, nos respectivos canais: vermelho, verde e azul. Orbits 220 ponto 70 - 27/04/1999, com superposição do contorno da área de influência da UHE - Volta Grande, rodovias, limite de áreas urbanas, hidrografia e cota de inundação do Reservatório (cota média de 493.80m).

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

ESCALA 1:300.000

FIGURA - 04

2.2.1 CLIMA

O clima é do tipo tropical, com verões quentes e úmidos, e invernos frios e secos, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw. A temperatura média anual é de 22°C, sendo a amplitude térmica de 5°C, com ocorrência de precipitações entre 1300 a 1800 mm anuais, e a pluviosidade média de 1635mm/ano. As informações foram obtidas do relatório “Diagnóstico Limnológico do Reservatório de Volta Grande” realizado em 1987 pela Companhia Energética de Minas Gerais.

2.2.2 COBERTURA VEGETAL

A cobertura vegetal do Estado de Minas Gerais era muito diferente da atual. A exploração das matas, ainda que sob forma muito superficial de extração seletiva, iniciou-se no século XVII, com a procura do Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata*); já no século XVIII, com a atividade extrativa do ouro e, em seguida, dos diamantes, surgiram várias cidades e, como consequência, a procura de madeira para a construção, móveis e combustível. Posteriormente, deu-se o desflorestamento mais intensivo pelo cultivo do café, seguido pelo avanço da atividade pecuária, reduzindo ainda mais a superfície das matas (GOLFARI, 1975).

O Cerrado está localizado basicamente no Planalto Central do Brasil e é o segundo maior bioma do país em área, apenas superado pela Floresta Amazônica. Trata-se de um complexo vegetacional que possui relações ecológicas e fisionômicas com outras savanas da América tropical e de continentes como África e Austrália. O Cerrado ocupa mais de 2.000.000 km², o que representa cerca de 23% do território brasileiro, ocorrendo em altitudes que variam de cerca de 300m, a exemplo da Baixada Cuiabana (MT), a mais de 1600m, na Chapadados Vadeiros (GO). No Cerrado predominam os Latossolos, tanto em áreas sedimentares quanto em terrenos cristalinos, ocorrendo ainda solos concrecionários em grandes extensões. O Cerrado abrange como área contínua os estados de Goiás, Tocantins e o Distrito Federal, parte dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí, Rondônia, São Paulo e Minas Gerais.

VEGETAÇÃO NATURAL (PRIMÁRIA)

A vegetação natural predominante na região da área de influência do reservatório, de acordo com IBGE (1972) (aerofotografias de 1965), Instituto Estadual de Florestas - IEF/MG (1994) e GOLFARI (1975) é: Cerrado e suas formações florestais (Matas Ciliares e de Galerias), atualmente bastante degradadas em função do uso do solo que vem sendo praticado na região. A seguir dar-se-á uma caracterização parcial dos diversos componentes do bioma Cerrado de acordo com SANO & ALMEIDA (1998).

Cerrado – o Cerrado (sentido restrito) caracteriza-se pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, e geralmente com evidências de queimadas. Os arbustos e subarbustos encontram-se espalhados, com algumas espécies apresentando órgãos subterrâneos perenes (xilopódios), que permitem a rebrota após a queima ou corte. Na época chuvosa os estratos subarbusitivo e herbáceo tornam-se exuberantes devido ao seu rápido crescimento. Os troncos das plantas lenhosas em geral possuem cascas com cortiça grossa, fendida ou sulcada, e as gemas apicais de muitas espécies são protegidas por densa pilosidade. As folhas geralmente são rígidas e coriáceas. Esses caracteres fornecem aspectos de adaptação às condições de seca (xeromorfismo). De acordo com a densidade (estrutura) arbórea-arbustiva, ou do ambiente em que se encontra, o Cerrado sentido restrito apresenta quatro subtipos: Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo e Cerrado Rupestre. Grande parte dos solos da vegetação de Cerrado são das classes Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo-Roxo. Apesar das boas características físicas, são solos forte ou moderadamente ácidos (pH entre 4,5 e 5,5), com carência generalizada dos nutrientes essenciais, principalmente fósforo e nitrogênio. Com frequência apresentam altas taxas de alumínio. O teor de matéria orgânica varia de médio a baixo. Quando a vegetação nativa de cerrado é retirada, a área fica susceptível a problemas de erosão, o que é mais grave sobre Areias Quartzosas.

Figura 05 – Diagrama de perfil (1) e cobertura arbórea (2) de um Cerrado Típico representando uma faixa de 40 m de comprimento por 10 m de largura. Fonte: SANO & ALMEIDA (1998).

Mata Ciliar – vegetação florestal que acompanha os rios de médio e grande porte da região do Cerrado, em que a vegetação arbórea não forma galerias. Em geral essa Mata é relativamente estreita em ambas as margens, dificilmente ultrapassando 100 metros de largura em cada. É comum a largura em cada margem ser proporcional à do leito do rio, embora em áreas planas ela possa ser maior. Porém, a Mata Ciliar ocorre geralmente sobre terrenos acidentados, podendo haver uma transição nem sempre evidente para outras fisionomias florestais. A Mata Ciliar diferencia-se da Mata de Galeria pela deciduidade e pela composição florística, sendo que na Mata Ciliar há diferentes graus de caducifolia na estação seca enquanto que a Mata de Galeria é perinifólia. Floristicamente é similar à Mata Seca, diferenciando-se desta pela associação aos cursos de água e pela estrutura, que em geral é mais densa e mais alta. Os solos podem ser rasos como os Cambissolos, Plintossolos ou Litólicos, profundos como os Latossolos e Podzólicos, ou ainda ser solos Aluviais. Nos locais onde pequenos afluentes (córregos ou riachos) desaguam no rio principal, a flora da Mata Ciliar pode misturar-se à flora da Mata de Galeria, fazendo com que a delimitação fisionômica entre um tipo e outro seja dificultado.

Figura 06 - Diagrama de perfil (1) e cobertura arbórea (2) de uma Mata Ciliar representando uma faixa de 80 m de comprimento por 4 m de largura nos períodos seco (maio a setembro) e chuvoso (outubro a abril). Fonte: SANO & ALMEIDA (1998).

Mata de Galeria – vegetação florestal que acompanha os rios de pequeno porte e córregos dos planaltos do Brasil Central, formando corredores fechados (galerias) sobre o curso de água. Geralmente localiza-se nos fundos de vales ou nas cabeceiras de drenagem onde os cursos de água ainda não escavaram um canal definitivo. Essa fisionomia é perenifólia, não apresentando caducifolia durante a estação seca. Quase sempre é circundada por faixas de vegetação não florestal em ambas as margens, e em geral ocorre uma transição brusca com formações savânicas e campestres. A transição é quase imperceptível quando ocorre com Matas Ciliares, Matas Secas ou mesmo Cerradões, o que é mais raro, muito embora pela composição florística seja possível diferenciá-las. No seu interior, a umidade relativa é alta mesmo na época mais seca do ano. Os solos são geralmente Cambissolos, Plintossolos, Podzólicos, Hidromórficos ou Aluviais, podendo mesmo ocorrer Latossolos semelhantes aos das áreas de cerrado (sentido amplo) adjacentes. Neste

último caso, devido à posição topográfica, os Latossolos apresentam maior fertilidade devido ao carreamento de material das áreas adjacentes e da matéria orgânica oriunda da própria vegetação. De acordo com a composição florística e características ambientais, como topografia e variação na altura do lençol freático ao longo do ano, a Mata de Galeria pode ser de dois subtipos: - Mata de Galeria não-Inundável e Mata de Galeria Inundável.

Figura 07 - Diagrama de perfil (1) e cobertura arbórea (2) de uma Mata de Galeria não Inundável representando uma faixa de 80 m de comprimento por 10m de largura. Fonte: SANO & ALMEIDA (1998).

Figura 08 - Diagrama de perfil (1) e cobertura arbórea (2) de uma Mata de Galeria Inundável representando uma faixa de 80 m de comprimento por 10m de largura. Fonte: SANO & ALMEIDA (1998).

Mata Seca – Sob a designação de Mata Seca estão incluídas as formações florestais caracterizadas por diversos níveis de caducifolia durante a estação seca, dependentes das condições químicas, físicas e principalmente da profundidade do solo. A Mata Seca não possui associação com os cursos de água, ocorrendo nos interflúvios em solos geralmente mais ricos em nutrientes. Em função do tipo de solo, da composição florística e, em consequência, da queda de folhas no período seco, a Mata Seca pode ser de três subtipos: - Mata Seca Sempre-Verde, Mata Seca Semidecídua, a mais comum, e Mata Seca Decídua. Em todos esses subtipos a queda de folhas contribui para o aumento da matéria orgânica no solo, mesmo na Mata Seca Sempre-Verde. A Mata Seca pode ser encontrada em solos desenvolvidos em rochas básicas de alta fertilidade, Terra Roxa Estruturada e Cambissolos, em Latossolos Roxo e Vermelho-Escuro, de média fertilidade, que ocorrem principalmente em Matas Secas Sempre-Verde e Semidecídua.

Figura 09 – Diagrama de perfil (1) e cobertura arbórea (2) de três Matas Secas, em diferentes épocas do ano, representando faixas com cerca de 26 m de comprimento por 10 m da largura cada. CA: Cobertura arbórea em %. O trecho do lado esquerdo (A) representa uma Mata Seca Sempre-Verde; o trecho do meio (B) uma Mata Seca Semidecídua e (C) o trecho do lado direito uma Mata Seca Decídua, com afloramentos de rocha. Fonte: SANO & ALMEIDA (1998).

Cerradão – caracteriza-se pela presença de espécies que ocorrem no Cerrado (sentido restrito) e também por espécies de mata. Do ponto de vista fisionômico é uma floresta, mas floristicamente é mais similar a um Cerrado. RIZZINI (1963), classificou Cerradão como uma formação florestal com aspectos xeromórficos, tendo sido conhecida pelo nome de Floresta Xeromorfa. Para CAMPOS (1943) o Cerradão é mata mais rala e fraca. Em sua maioria, os solos de Cerradão são profundos, bem drenados, de média e baixa fertilidade, ligeiramente ácidos, pertencentes às classes de Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo ou Latossolo Roxo. O teor de matéria orgânica nos horizontes superficiais é médio e recebe um incremento anual de resíduos orgânicos provenientes da deposição de folhas durante a estação seca. De acordo com a fertilidade do solo o

Cerradão pode ser classificado como Cerradão Distrófico (solos pobres) ou Cerradão Mesotrófico (solos mais ricos), cada qual possuindo espécies características adaptadas a esses ambientes.

Figura 10 – Diagrama de perfil (1) e cobertura arbórea (2) de um Cerradão representando uma faixa de 80 m de comprimento por 10 m de largura. Fonte: SANO & ALMEIDA (1998).

Campo Sujo (formação campestre) – é um tipo fisionômico exclusivamente herbáceo-arbustivo, com arbustos e subarbustos esparsos cuja plantas, muitas vezes, são constituídas por indivíduos menos desenvolvidos das espécies arbóreas do Cerrado (sentido restrito). Em função de particularidades ambientais, o Campo Sujo pode apresentar três tipos fisionômicos: - na presença de um lençol freático profundo ocorre o Campo Sujo Seco; - se o lençol freático é alto, há o Campo Sujo Úmido; - quando na área ocorrem microrelevos mais elevados (murundus), tem-se o Campo Sujo com Murundus. O Campo Sujo é encontrado em solos rasos como os Litólicos, Cambissolos ou Plintossolos Pétricos, eventualmente

com pequenos afloramentos rochosos de pouca extensão (sem caracterizar um Campo Rupestre), ou ainda em solos profundos e de baixa fertilidade (állico ou distrófico) como os Latossolos de textura média, e as Areias Quartzosas.

Campo Limpo (formação campestre) – é uma fitofisionomia predominantemente herbácea, com raros arbustos e ausência completa de árvores. Pode ser encontrada em diversas posições topográficas, com diferentes variações no grau de umidade, profundidade e fertilidade do solo. Entretanto, é encontrado com mais frequência nas encostas, nas chapadas, nos olhos d'água, circundando as Veredas e na borda das Matas de Galeria, geralmente em solos Litólicos, Litossolos, Cambissolos ou Plintossolos Pétricos. Quando ocorre em áreas planas, relativamente extensas, contíguas aos rios e inundadas periodicamente, também é chamado de “Campo de Várzea”, “Várzea” ou “Brejo”, sendo os solos do tipo Hidromórfico, Aluvial, Plintossolos ou Solos Orgânicos. O Campo Limpo, como o Campo Sujo, também apresenta variações dependentes de particularidades ambientais, determinadas pela umidade do solo e topografia. Na presença de um lençol freático profundo ocorre o Campo Limpo Seco, mas se o lençol freático é alto, há o Campo Limpo Úmido, cada qual com sua flora específica. Quando aparecem os murundus, tem-se o Campo Limpo com Murundus, e, em geral, o Campo Limpo com Murundus é menos freqüente que o Campo sujo com Murundus.

VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA

Pastagens (campos secundários) – estes campos secundários ou antrópicos constituem uma formação representada por revestimento vegetal subespontâneo e espontâneo, desenvolvido artificialmente, não constituindo, portanto, uma vegetação campestre natural, e sim, formação secundária, que se instalou após a destruição da vegetação anterior, seguida da queima e utilização agrícola, sendo sua fisionomia atual resultante da profunda modificação provocada por interferência humana, originando uma paisagem com aspecto de pradaria (GIAROLA *et al.*, 1997).

A Tabela 01 apresenta as classes de cobertura vegetal e uso do solo de 1965, na área de influência do reservatório, tendo como base de dados as cartas planialtimétricas do IBGE editadas em 1972. As áreas foram estimadas a partir do mapa temático “Cobertura vegetal e uso do solo - 1965” (Figura 11). Observa-se o domínio absoluto das pastagens e campos, perfazendo cerca de 120.269,61 hectares, correspondendo a 43,45% da área em relação ao uso do solo, período que antecede a construção da barragem.

Tabela 01 – Classe de cobertura vegetal e uso do solo de 1965 na área de influência do reservatório de Volta Grande/MG.

Classes de cobertura vegetal e uso do solo – 1965	Área (ha)	%
Área agrícola – cultura temporária	68.600,39	24,79
Área agrícola – cultura permanente	13.951,19	5,04
Cerrado	54.114,80	19,56
Matas	12.383,44	4,48
Pastagens e campos	120.269,61	43,47
Lagoas e brejos	692,46	0,25
Área sujeita à inundação	5.882,65	2,13
Área urbanizada	787,31	0,28

A Tabela 02 apresenta as classes de cobertura vegetal e uso do solo de 1999, tendo como base de dados a imagem de satélite Landsat 5 (TM, bandas 3, 4 e 5), órbita 220/ponto 74, de 27/abril/1999. As áreas foram estimadas a partir do mapa temático “Cobertura vegetal e uso do solo - 1999” (Figura 12), perfazendo um total de 113.315,13 hectares de área agrícola entre culturas anuais e de ciclo curto, 98.026,63 hectares de pastagens e dos 25.448,50 hectares de vegetação natural remanescente.

Tabela 02 - Classe de cobertura vegetal e uso do solo de 1999 na área de influência do reservatório de Volta Grande/MG.

Classes de cobertura vegetal e uso do solo – 1999	Área (ha)	%
Área agrícola	110.779,19	41,90
Área agrícola irrigada	1.886,02	0,71
Área agrícola irrigada com solo exposto	649,92	0,25
Solo exposto	23.793,53	9,00
Pastagem	98.026,63	37,07
Vegetação natural remanescente	23.762,68	9,00
Vegetação de várzea	1.685,82	0,64
Lagoas	397,68	0,15
Área urbanizada	2.682,56	1,01
Distrito industrial	619,66	0,23
Área não sensoriada	130,78	0,05

O processo de desmatamento na área de influência do reservatório foi devido principalmente à expansão da cana de açúcar na região mineira, uma vez que no lado paulista já predominavam áreas agrícolas. Comparando os valores de áreas mapeadas em 1965 e 1999 (Tabela 03), estima-se 64,27% de perda de áreas de cerrado e matas ciliares e de 18,49% de pastagem. Após a formação do lago represado percebe-se o processo de urbanização de suas margens, com aproximadamente 340% de crescimento em relação ao ano de 1965, destacando-se a ocupação nos municípios de Água Comprida (MG), Uberaba (MG) e Miguelópolis (SP), sendo que este último apresentou grande desenvolvimento em função da proximidade de sua área urbana do reservatório, com o uso das suas águas para lazer e recreação.

Tabela 03 - Classes de cobertura vegetal e usos do solo de 1965 e 1999 na área de influência do reservatório de Volta Grande/MG.

Classes de cobertura vegetal e usos do solo	1965	1999	%
	Área (ha)	área (ha)	
Área agrícola	82.551,58	110.779,19	134.19
Área agrícola irrigada	-	1.886,02	100
Área agrícola irrigada com solo exposto	-	649,92	100
Solo exposto	-	23.793,53	100
Pastagem	120.269,61	98.026,63	-18.49
Vegetação natural remanescente	66.498,24	23.762,68	-64.27
Vegetação de várzea	-	1.685,82	100
Lagoas e brejos	692,46	397,68	-42.57
Área sujeita à inundação	5.582,65	-	100
Área urbanizada	787,31	2.682,56	340.72
Distrito industrial	-	619,66	100
Área não sensoriada	-	130,78	-

MAPA DE COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO - RIO GRANDE - SP/MG, 1965.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CLASSES DA COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO

- Vegetação remanescente: cerrado
- Vegetação remanescente: mata e floresta
- Pastagens e campos
- Área agrícola com culturas temporárias: milho, arroz, sorgo, etc
- Área agrícola com culturas permanentes: cana, café
- Área sujeita à inundação: vegetação de várzea
- Área urbanizada

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Afluentes
- Rio Grande
- Ilhas
- Lagoas e brejos
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande

NOTA EXPLICATIVA

Mapa elaborado a partir da digitalização das cartas do IBGE, folha SF-22-X-B-III-2 (Miguelópolis-SP), folha SF-23-V-A-I-1 (Igarapava-SP), escala 1:50.000; folha SE-22-Z-C-VI (Veríssimo-MG), folha SE-23-Y-C-IV (Uberaba-MG), na escala 1:100.000. Digitalização manual usando mesa digitalizadora.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

ESCALA 1:300.000

10 0 10 Km

FIGURA - 11

MAPA DE COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO NA ÁREA DA UHE - VOLTA GRANDE, 1999

ESCALA 1:300.000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CLASSES DE COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO

- Solo exposto de uso agrícola
- Área agrícola com cultura de cana
- Área agrícola irrigada com sistema tipo pivô central
- Área agrícola irrigada com solo exposto
- Pastagens ou campos
- Vegetação remanescente tipo cerrado, mata ou floresta
- Vegetação de várzea
- Barragem
- Área urbanizada
- Distrito industrial da cidade de Uberaba
- Área não sensoriada

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Afluentes
- Reservatório da UHE - Volta Grande
- Lagoas
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande

NOTA EXPLICATIVA

Mapa elaborado a partir do tratamento e classificação da imagem do satélite Landsat 5, sensor TM, bandas 3, 4 e 5, órbita 220 ponto 70 - 27/04/1999. Emprego do software Idrisi32, classificação supervisionada.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

2.2.3 SOLOS

A região de estudo encontra-se inserida na Bacia do Paraná, sendo que esta bacia ocupa uma área total de aproximadamente 1.400.000 km² e engloba a porção meridional do Brasil. Segundo BOGNIOTTI (1999), a porção nordeste desta bacia, que engloba o oeste de Minas Gerais e sul de Goiás, durante o cretáceo foi submetida a deformações rúpteis, como reflexo da abertura do Rifte Sul-Atlântico, que provocaram a geração de movimentos ascencionais que formaram o Soerguimento do Alto Paranaíba e a subsidência das áreas laterais, onde a subsidência a oeste recebeu o nome de Depressão de Uberaba e a que se situava a leste do soerguimento, foi denominada Depressão de Abaeté.

Na Depressão de Uberaba foram depositados os Grupos São Bento, de idade jurássica, e Bauru, de idade cretácica, e na Depressão de Abaeté as Formações Areado, Mata da Corda e Urucuia. Na região, o Grupo São Bento é representado pelas Formações Botucatu e Serra Geral, enquanto que o Grupo Bauru encontra-se subdividido nas Formações Uberaba e Marília.

De acordo com dados do relatório técnico da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG, 1987), a região faz parte da grande unidade de relevo - o Planalto Arenítico-Basáltico da bacia do Paraná - caracterizado por superfícies onduladas recobertas por arenito Cretáceo Bauru.

Os solos dessa área do reservatório (Figura 13) são muito variados, predominando Latossolos de diferentes graus de fertilidade, o que se reflete no adensamento maior ou menor da vegetação natural - o Cerrado, hoje bastante destruído na região.

Os solos existentes na margem mineira podem ser agrupados, de acordo com o Mapa de Reconhecimento de Solos do Triângulo Mineiro (1980, escala 1:500.000), elaborado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em:

Latossolo Roxo Distrófico (LRd1) - A proeminente ou moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo plano e suave ondulado;

Latossolo Roxo Distrófico ou Álico (LRd2) - A moderado, textura muito argilosa, fase cerradão tropical subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado;

Latossolo Roxo Distrófico ou Distrófico Epiálico (LRd3) - A moderado, textura muito argilosa, fase cerrado tropical subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado;

Associação de Latossolo Roxo Distrófico ou Álico (LRd4) - A moderado, textura muito argilosa, fase cerradão tropical subcaducifólio, relevo plano suave ondulado + Cambissolo Eutrófico Tb - A chernozêmico, textura argilosa fase pedregosa, floresta tropical caducifólia, relevo ondulado substrato basalto (70-30%);

Latossolo Vermelho-Escuro Álico (LEa) - A moderado, textura média, fase cerradão tropical subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado;

Latossolo Vermelho-Escuro Álico (LEa3) - A moderado textura média, fase cerrado tropical subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado;

Associação de Gley Húmico Distrófico (HGd2) + Gley Pouco Húmico Distrófico ou Eutrófico ambos indiscriminados, fase campo higrófilo de várzea + Solos Aluviais Eutróficos ou Distróficos - A moderado, textura indiscriminada, fase floresta tropical subcaducifólia de várzea, todos relevo plano (40 - 30 - 30%);

Associação de Latossolo Roxo Eutrófico (LRe2) textura muito argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo suave ondulado + Cambissolo Eutrófico Tb + Solos Líticos Eutróficos ambos textura argilosa fase pedregosa I, floresta tropical caducifólia, relevo ondulado e forte ondulado, substrato basalto todos A chernozêmico ou moderado (50-30-20%);

Podzólico Vermelho-Amarelo ou Distrófico (PE 5) - Tb A chernozêmico ou proeminente, textura média cascalhenta fase, floresta tropical caducifólia, relevo forte ondulado;

Associação de Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico (PE 6) - Tb A moderado ou chernozêmico, fase florestal subcaducifólia, relevo suave ondulado e ondulado + Latossolo Vermelho Escuro Álico A moderado, fase cerradão tropical subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado, ambos textura média + Cambissolo

Álico Tb podzólico A moderado, textura argilosa cascalhenta, fase cerrado tropical subcaducifólio, relevo suave ondulado e ondulado (50-30-20%);

Latossolo Vermelho-Amarelo Álico ou Distrófico (LVa 1) epiálico, A moderado, textura muito argilosa, fase cerrado tropical subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado.

Os solos da área de influência da margem paulista do reservatório de Volta Grande estão agrupados de acordo com a nova classificação pedológica nacional em vigor, publicação do Centro Nacional de Pesquisas de Solos (CNPq), Rio de Janeiro, Embrapa Solos (1999).

De acordo com o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (1999, escala 1:500.000), elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), os solos existentes na região paulista podem ser agrupados em:

Latossolos Vermelhos (LV 14) distróficos, A moderado, textura média, relevo plano e suave ondulado;

Latossolos Vermelhos (LV 15) distroféricos, A moderado e proeminente, textura argilosa, relevo suave ondulado e plano;

Latossolos Vermelhos (LV 33) acriféricos e distroféricos, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado;

Latossolos Vermelhos (LV 2) eutroféricos e distroféricos, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado;

Latossolo Amarelo (LA 8) acriféricos e distróficos com e sem plintita + Latossolos Vermelhos acriféricos, ambos A moderados, textura argilosa, relevo suave ondulado e plano + Gleissolos Hápticos eutróficos e distróficos, textura indiscriminada, relevo de várzea;

Nitossolos Vermelhos (NV 2) eutroféricos + Latossolos Vermelhos eutróficos, ambos A moderado, textura argilosa e relevo suave ondulado.

As informações contidas no Mapa de Solos do Brasil, escala 1 : 5.000.000, 1981, EMBRAPA - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, são muito generalizadas, a escala é bastante pequena e não há uniformidade de solo em extensões grandes. As suas unidades cartográficas são, na maioria, associações de

várias unidades de solos; destas, somente as principais vão especificadas em cada unidade, sendo o registro ordenado segundo a importância de extensão dos respectivos componentes principais das associações; outras unidades de solos secundárias não são indicadas. De acordo com o mapa de Solos do Brasil (1981), a área de influência do reservatório de Volta Grande está sob Latossolo Roxo Distrófico e Eutrófico (LRd1).

MAPA DE SOLOS DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO DA UHE - VOLTA GRANDE

ESCALA 1:300.000

10 0 10 Km

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CLASSES DE SOLOS

- Nitossolo Vermelho - NV2
- Latossolo Vermelho Eutroférico e Distrófico - LV2
- Latossolo Vermelho Distrófico - LV14
- Latossolo Vermelho Distrófico - LV15
- Latossolo Roxo Ácrico - LV33
- Latossolo Amarelo - LA8
- Latossolo Roxo Distrófico - LRd1
- Latossolo Roxo Distrófico ou Álico - LRd2
- Latossolo Roxo Distrófico ou Distrófico Epiálico - LRd3
- Latossolo Roxo Distrófico ou Álico - LRd4
- Latossolo Roxo Eutrófico - LRe2
- Latossolo Vermelho-escuro Álico - LEa1
- Latossolo Vermelho-escuro Álico - LEa3
- Podzólico Vermelho-amarelo Eutrófico ou Distrófico - PE5
- Podzólico Vermelho-amarelo Eutrófico - PE6
- Latossolo Vermelho-amarelo Álico ou Distrófico - LVa1
- Gley Húmico Distrófico - HGd2

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Afluentes
- Reservatório da UHE - Volta Grande
- Ilhas da UHE - Volta Grande
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande

NOTA EXPLICATIVA

Mapa elaborado a partir da digitalização do Mapa de Reconhecimento de Solos do Triângulo Mineiro, EMBRAPA/EPAMIG - 1980, escala 1:500.000 e Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, EMBRAPA/IAC - 1999, escala 1:500.000.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

FIGURA - 13

2.3 O RESERVATÓRIO DE VOLTA GRANDE

O reservatório está compreendido entre 48°25' a 47°35' de longitude oeste, e de 19°57' a 20°10' de latitude sul. As suas características morfométricas e hidráulicas são apresentadas a seguir.

Área inundada	221,70 Km ²
Perímetro total	90 km
Comprimento	70,00 km
Cota média	493,80 m
Nível máximo normal	494,20 m
Nível mínimo operativo	493,20 m
Volume morto	2,000 km ³
Volume útil	0,268 km ³
Volume total	2,268 km ³
Largura próxima à barragem	2,50 Km
Largura média	3,17 km
Profundidade média	10,20 m
Tempo de residência da água	25 dias

O reservatório abrange os municípios de Conceição das Alagoas, Água Comprida e Uberaba, no Estado de Minas Gerais, e Miguelópolis e Aramina no Estado de São Paulo. A Figura 14 apresenta o mapa indicativo do reservatório com seus afluentes e municípios. Em seguida, as Figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 20 mostram as diferentes características de cobertura vegetal e uso do solo das margens paulista e mineira nos anos de 1998 e 1999.

MAPA RESERVATÓRIO DE VOLTA GRANDE, PRINCIPAIS AFLUENTES E LIMITE DE MUNICÍPIOS

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Área urbana
- Distrito Industrial III
- Usina de açúcar e álcool
- Reservatório da UHE - Volta Grande
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande
- Limite interestadual
- Limite intermunicipal
- Afluentes

NOTA EXPLICATIVA

Mapa indicativo do Reservatório em sua área de influência apresentando os principais afluentes, limite de municípios, áreas urbanas e agro-industrial.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

FIGURA - 14

Nas suas margens localizam-se as cidades de Miguelópolis (SP) e Água Comprida (MG), o distrito industrial de Uberaba - DI3, usinas de álcool e portos de extração de areia. Na margem esquerda (SP) predominam atividades tipicamente agrícolas, enquanto que na margem direita (MG) observa-se zonas de pastoreio e grande avanço da cana-de-açúcar.

A seguir, descreve-se algumas características dos principais afluentes contribuintes ao reservatório:

Ribeirão Buriti: é o segundo maior contribuinte do reservatório, excluindo-se o rio Grande. Grandes quantidades de troncos de árvores mortas ocorrem não somente na área de influência do Buriti, mas também em todo o reservatório. Suas margens são ocupadas por pastagens e outras culturas, e sua largura varia aproximadamente de 300 a 1000 metros.

Rio do Carmo: é o maior contribuinte do reservatório, excetuando-se o rio Grande. Possui leito irregular, repleto de troncos de árvores não removidas por ocasião da formação do reservatório. Sua água é mais turva que a do reservatório, principalmente por ocasião do período de chuvas. Frequentemente, ocorre uma película superficial em suas águas que é resultante de rejeitos da usina de álcool situada na região. Próximo à sua desembocadura, esse rio possui aproximadamente entre 100 e 200 metros de largura, e suas margens são cobertas por pastagens e canaviais. Por outro lado, o reservatório, nesta área, possui cerca de 2,0 km de largura.

Córrego Gameleira: é o principal receptor dos efluentes do Distrito Industrial do município de Uberaba, na margem mineira.

Figura 15 - Reservatório de Volta Grande: margem paulista – área agrícola irrigada, março/1999, Miguelópolis/SP.

Figura 16 - Reservatório de Volta Grande: margem paulista – área de cana-de-açúcar, março/1999, Miguelópolis/SP.

Figura 17 - Reservatório de Volta Grande: margem mineira – área de pastagem, setembro/1998, Água Comprida/MG.

Figura 18 - Reservatório de Volta Grande: margem mineira – área de pastagem, setembro/1999, Água Comprida/MG.

Figura 19 – Reservatório de Volta Grande: margem paulista – mata ciliar degradada, setembro/1999, Miguelópolis/SP.

Figura 20 – Reservatório de Volta Grande: margem paulista – solo exposto em área de cana-de-açúcar, setembro/1999, Miguelópolis/SP.

As informações existentes no banco de dados do posto pluviométrico da CEMIG no reservatório de Volta Grande foram disponibilizadas para o período de 1986 a 1999 e para o ano de estudo (1999). Os dados estão apresentados na Tabela 04.

Tabela 04 - Valores médios mensais de precipitação (mm), evaporação (mm), temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (km/h), durante o ano de 1999, período de coleta no reservatório de Volta Grande/MG.

Meses	Precipitação (mm)	Evaporação (mm)	Temperatura (°C)	Umidade do ar (%)	Veloc. Vento (km/h)
Jan	473,2	140,0	27,0	92,7	1,7
Fev	132,2	125,7	26,9	89,7	1,7
Mar	162,4	125,3	26,7	91,4	1,7
Abr	26,4	127,9	24,1	89,3	1,9
Mai	10,1	111,7	19,4	87,0	1,8
Jun	9,2	95,2	21,0	89,1	1,4
Jul	5,7	122,4	22,7	84,9	1,8
Ago	0,0	156,1	22,7	78,7	2,2
Set	118,5	160,3	26,1	84,1	2,5
Out	25,7	171,2	27,4	84,7	2,5
Nov	87,8	164,5	26,5	87,4	2,3
Dez	235,9	151,1	27,3	91,0	2,0

As informações do regime pluviométrico caracterizam a existência de um período chuvoso de oito meses, de outubro a março, sendo abril e setembro os meses de transição. Os meses de dezembro e janeiro são os meses mais chuvosos, enquanto que julho e agosto os mais secos. A precipitação média anual varia entre 1200 e 1900 mm.

No ano de 1999, observou-se que em junho ocorreu uma evaporação média mensal de 95,2 mm e 171,2 mm em outubro, respectivamente, 9,2mm e 25,7 mm de precipitação, valores apresentados na Tabela 04 e Figura 21. O mês de agosto foi caracterizado com o maior déficit hídrico do ano: 0,0 mm de precipitação e 156,1 mm de evaporação.

Figura 21 - Valores médios mensais de precipitação (mm) e evaporação (mm) no ano de 1999, no reservatório de Volta Grande/(MG).

No período de estiagem, que normalmente se inicia em abril e pode estender-se até o início de outubro, ocorre uma variação máxima do nível da água da represa em 1,00 m (cota mínima de operação: 493,20 m), fato este observado desde o início das atividades da hidrelétrica (Posto meteorológico da UHE Volta Grande-CEMIG/MG).

Neste reservatório, no verão, as temperaturas médias mensais são de 28°C e com chuvas abundantes. Devido às elevadas temperaturas e à instabilidade do tempo nesta época do ano, são freqüentes os dias nublados e abafados. O inverno é caracterizado por apresentar temperaturas médias mensais de 17°C. Nessa região, janeiro é o mês mais quente com temperaturas que variam de 19°C a 37°C, e julho é o mês mais frio com temperaturas entre 13°C e 32°C.

No ano de 1999, maio apresentou a menor temperatura média mensal de 19,4° C, o inverno caracterizou-se por apresentar temperaturas médias entre 21° C e 23° C, enquanto que no verão a temperatura média foi de 27,3° C (Tabela 04 e Figura 22).

Figura 22 - Valores médios mensais de temperatura do ar (°C), ano de 1999, no reservatório da UHE Volta Grande-CEMIG/(MG).

A umidade relativa média anual oscila entre 60% e 85%, sendo que sua distribuição varia com as estações do ano. No período de avaliação (1986 a 1999), a umidade relativa apresentou média de 75%. Em 1999 a umidade relativa média mensal foi mais baixa em agosto durante a estação seca (79%) e 93% na estação chuvosa em janeiro (Tabela 04 e Figura 23).

No período de 1986 a 1999, setembro caracterizou-se como o mês de maior variação de velocidade média mensal do vento entre 1,6 km/h e 2,7 km/h. Para o mesmo período de avaliação, o ano de 1992 apresentou a menor velocidade média anual: 1,35 km/h, sendo 1987 o ano de maior velocidade média anual: 2,08 km/h. No ano de 1999, setembro apresentou velocidade média mensal: 2,5 km/h e em julho 1,4 km/h (Tabela 04 e Figura 23).

Figura 23 - Valores médios mensais de umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (km/h), no reservatório da UHE Volta Grande-CEMIG/(MG), 1999.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E SEDIMENTAÇÃO NO RESERVATÓRIO DE VOLTA GRANDE /MG.

3.1 INTRODUÇÃO

Inúmeros problemas podem ser estudados em reservatórios, destacando-se o aporte e deposição de sedimentos, características relacionadas basicamente com o uso da área de influência e ocupação da bacia hidrográfica. CARPENTER (1983), define bacia hidrográfica como a área que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para um ponto comum ao longo de um curso d'água ou rio, ou seja, ela define a área de captação do escoamento superficial que alimenta um sistema aquático.

Considerando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a realização de estudos aponta com preocupação os efeitos impactantes do uso da terra sobre a qualidade e quantidade das águas superficiais. A compreensão do conjunto de processos físicos que ocorrem nas microbacias é de extrema valia para interpretação de resultados dos estudos de bacias, suas limitações e aplicabilidade a outras áreas.

CALIJURI (1999), comenta que as influências do Homem estão relacionadas à economia local, manejo da bacia hidrográfica e usos do reservatório, sendo que este último é mais importante. Segundo a autora, o desenvolvimento econômico na bacia hidrográfica modifica não somente a qualidade da água, mas também a hidrologia da região.

A qualidade da água é afetada pelos usos da terra e quantidade de poluentes que entram no reservatório. Como consequência, os reservatórios desenvolvem

características específicas, que resultam numa mistura de influências globais, locais, naturais e do Homem (CALIJURI, 1999).

De acordo com MARGALEF (1983), as atividades humanas, como por exemplo, queimadas, desmatamentos, agricultura, construção de cidades e de estradas, produzem um aumento da concentração de materiais na água de escoamento e aumentam as diferenças entre ecossistemas vizinhos. Portanto, os resultados de todas as atividades exercidas em uma bacia hidrográfica, de acordo com TUNDISI (1988), são medidos efetivamente nos reservatórios por meio de respostas dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, uma vez que o reservatório atua como um sistema coletor de eventos.

As características dos reservatórios são influenciadas por fatores internos como: ciclagem de nutrientes, produção de biomassa, decomposição, e também, por fatores externos como: clima, cobertura vegetal, relevo circundante e atividades humanas, enfim, fatores associados à sua bacia de drenagem (MARICATO, 1994). Em relação às características de uso e ocupação do solo, PARAGUASSÚ *et al.* (1988), concluíram que o transporte e o acúmulo de sedimentos em corpos d'água dependem das atividades agrícolas e da intensidade do uso do solo na bacia hidrográfica. Além disso, a intensificação do uso do solo e o aumento da mecanização tendem a acelerar a taxa de sedimentação.

Segundo CARVALHO (1994), todos os aspectos referentes a sedimentos em todas as fases, de erosão, transporte e depósito, têm efeitos sobre o meio ambiente. É possível relacionar alguns aspectos negativos que perturbam-no: - sedimento pode ser um poluente; - atua como portador de outros poluentes, tais como: nutrientes químicos, inseticidas, herbicidas e metais pesados; - sedimento é um suporte e armazenador de resíduos, pesticidas, fósforo, nitrogênio e outros componentes orgânicos, bactérias e vírus; - degrada o uso consumptivo da água; - aumenta a turbidez da água e reduz a qualidade estética do curso d'água.

Para o entendimento da dinâmica dos ambientes aquáticos é necessário a obtenção de dados limnológicos em relação às principais variáveis físicas, químicas e biológicas, como transparência da água, concentração de oxigênio, nutrientes dissolvidos, material em suspensão e outros. A ação conjunta destas variáveis interagindo com o clima, relevo, tipos de solo, cobertura vegetal e uso do solo, irá

caracterizar o ambiente aquático seja ele lótico (rio) ou lântico (lago, lago artificial ou reservatório).

A área de influência do reservatório de Volta Grande abrange centros urbanos, industriais, áreas agricultáveis e pastagens, englobando dessa forma um conjunto de variáveis potencialmente aceleradoras do processo natural de evolução do estado de trofia e assoreamento do lago formado. Justifica-se, portanto, a necessidade de avaliação limnológica e de uma caracterização do sedimento de fundo desse reservatório, pois fornecerão subsídios para avaliação e compreensão da qualidade ambiental em contexto regional.

3.2 SEDIMENTAÇÃO EM RESERVATÓRIOS

O padrão geral de sedimentação é essencialmente o mesmo para todos os represamentos, a água do rio com alta velocidade e turbulência alimenta o reservatório onde o fluxo é lento e a carga de sedimento é depositada. Parte deste sedimento é depositada no próprio volume armazenado e parte no canal à montante. As partículas de maior dimensão, incluindo a carga de material de fundo, depositam-se formando um delta, enquanto que as partículas mais leves, especialmente a argila, são distribuídas ao longo do interior do reservatório. Estas partículas podem, também, reagir com os sais dissolvidos produzindo uma floculação inicial ou, ainda, permanecer em suspensão por longos períodos mantendo a turbidez em todo o reservatório. Os fatores mais importantes na determinação do transporte de sedimentos, distribuição, deposição e erosão são: ciclo hidrológico, regime de vento, morfometria, manejo humano do ambiente e também a composição biológica.

Em 1941, BRUNE & ALLEN estudaram os fatores que influenciam a sedimentação em reservatórios. Selecionaram 23 reservatórios em áreas onde existiam estudos sobre taxas de erosão natural e antrópica, para posterior comparação entre erosão total estimada e a quantidade de sedimentos efetivamente depositada nestes reservatórios. Concluíram que os fatores principais que influenciam a deposição de sedimentos em reservatórios são: - a quantidade de sedimento que adentra ao reservatório; - a capacidade de retenção do sistema; - a razão entre a

capacidade do reservatório e a quantidade de sedimentos já acumulada; - e o modo de operação do reservatório.

PONÇANO *et al.*,(1991); GIMENEZ *et al.*,(1981); CARLSTRON FILHO *et al.*,(1981) *apud* COELHO (1993), apresentaram três trabalhos conjuntos, resultantes dos estudos desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT) em convênio com a Eletrobrás nos reservatórios de Capivari (PR), Passo Real e Ernestina (RS), com o objetivo de desenvolver metodologia adequada ao estudo de assoreamento de reservatórios. Os reservatórios foram selecionados de acordo com a seguinte metodologia: - reconhecimento de formas e processos de erosão na bacia hidrográfica à montante do reservatório; - coleta de sedimentos de superfície e de subsuperfície de fundo com amostradores tipo Van Veen e Piston Core, para caracterização da distribuição, granulometria e mineralogia do material depositado; - detecção das principais áreas fonte do material depositado; - prognóstico a respeito da taxa de assoreamento; - indicação preliminar de medidas preventivas.

Em relação à entrada de nutrientes e de sedimento nos ambientes lótico(rio) ou lêntico(reservatórios), como o material particulado, segundo HENRY & GOUVEIA (1994), ocorre pela água de precipitação e pelo escoamento superficial. A remoção desses da bacia de drenagem se dá por processos como os padrões anuais de chuva e sua distribuição na área da bacia, os usos do solo e a extensão, e os tipos de cobertura do solo.

Segundo MARQUISÁ (1998), o material particulado no reservatório tende a sedimentar, segundo o transporte hidráulico no sentido horizontal, em áreas mais ou menos próximas aos tributários. Portanto, a região litoral de um reservatório atua como um sistema amortecedor de fortes pulsos de nutrientes e material particulado, onde as áreas alagadas ou região litoral associada a reservatórios transformam quantitativa e qualitativamente as características originais do material.

LEITE (1998), descrevendo vários problemas que podem ser observados em reservatórios, destacou a entrada e deposição de sedimentos, relacionando-os com o uso e ocupação da área de drenagem e do seu entorno. As principais fontes geradoras são as atividades em áreas agrícolas com ausência de práticas de conservação e manejo de solo, e as atividades industriais e domésticas geradoras de esgotos sem tratamento prévio, ocasionando um aumento no transporte e na deposição de

compostos tóxicos, o aumento da turbidez da água, interferência nos processos físicos, químicos e biológicos, a diminuição da área navegável e a perda da capacidade de armazenamento de água.

A maioria dos estudos referentes ao uso do solo da bacia de drenagem e à exportação de nutrientes tem analisado a relação do uso da bacia hidrográfica com aptidão para a agricultura e a exportação de nitrogênio e fósforo, suas relações com o meio físico e seus efeitos como os principais fatores de poluição.

Segundo PIÃO (1995), os nutrientes, por exemplo nitrogênio e fósforo, introduzidos nos corpos de água têm origem muitas vezes desconhecidas. As fontes de nutrientes são classificadas como: pontuais e difusas (não pontuais). As fontes pontuais de poluição são facilmente identificáveis ao longo do curso de água – são provenientes de despejos de origem doméstica ou industrial. As fontes difusas são decorrentes dos diferentes usos do solo, e, uma maneira de quantificá-las tem sido exprimir as suas cargas anuais por unidade de área da bacia hidrográfica. Esse processo de quantificação permite a sua comparação em bacias, onde as características fisiográficas e usos do solo são distintos.

MARQUISÁ (1998) comenta que o nitrogênio e o fósforo são elementos químicos importantes na composição dos organismos em ambiente aquático. O ciclo de fósforo ocorre quase que exclusivamente na forma de fosfato (P^{+5}) e, segundo o mesmo autor, tem altíssima energia de formação, sendo a ruptura da molécula muito difícil. O fosfato pode combinar com o ferro, alumínio, cálcio e outros metais, formando minerais de baixa solubilidade e precipitar nos sedimentos onde se acumula.

O nitrogênio pode apresentar cinco estágios de oxidação formando compostos solúveis na água e gasosos, sendo distinto do fósforo, onde seu ciclo ocorre mais na fase líquida que sólida. Nos organismos encontra-se reduzido em forma de amina (NH_2^-). A reciclagem energeticamente mais econômica é na forma de nitrogênio amoniacal (NH_4^-), mas diversos organismos podem utilizá-lo como nitrato (NO_3^-) ou nitrito (NO_2^-). A reciclagem do nitrogênio gasoso (N_2) precisa ainda de mais energia e representa somente entre 2-5% da ciclagem total, podendo ser maior em sistemas agrícolas (fixação), áreas alagadas e lagos eutróficos (fixação e desnitrificação). A desnitrificação, pode também ser vista como um freio à

produção e pode ser comparada ao efeito da retenção do fósforo nos sedimentos MARQUISÁ (1998).

O fósforo presente em um reservatório pode ser classificado em: - segundo a origem, podemos ter fósforo alóctone ou autóctone; - segundo a natureza química, em orgânico ou inorgânico e segundo a solubilidade, solúvel ou particulado.

MARQUISÁ (1998), comenta que o fósforo alóctone natural origina-se principalmente da lavagem dos solos e rochas da bacia e, portanto, predominam as formas inorgânicas. Outros aportes de fósforo inorgânico particulado são as argilas e limos que podem adsorver fosfatos dissolvidos e serem levados pelo escoamento superficial até o corpo de água, sendo que uma grande parte do fósforo adsorvido aos sólidos suspensos de um reservatório é biologicamente disponível e dependendo da concentração do fosfato inorgânico dissolvido, pode induzir à eutrofização.

O fósforo alóctone de natureza orgânica é derivado de restos de plantas e animais e do aporte antropogênico, podendo apresentar-se tanto na forma particulada como dissolvida, com distintos graus de importância em função do uso e ocupação da bacia de drenagem.

O fósforo autóctone é aquele originado no próprio reservatório por processos biológicos ou químicos. Dentre os processos biológicos mais importantes pode-se mencionar a assimilação de formas inorgânicas de fosfatos e incorporação na biomassa fitoplancônica, ingestão de detritos, decomposição, excreção e outros.

REDDY & D'ANGELO (1994) *apud* MARQUISÁ (1998), consideram que as áreas alagadas ou a região litoral de um reservatório, em geral, possibilitam a transformação do fósforo inorgânico dissolvido para a forma particulada (orgânica e inorgânica).

O fluxo de deposição do material particulado em suspensão é reconhecido como um dos processos fundamentais para o entendimento dos ecossistemas aquáticos, especialmente com relação à produção primária e a perda de matéria orgânica das camadas trofógicas, retirando e transportando poluentes, influenciando a entrada de carbono orgânico particulado na cadeia alimentar bentônica (LEITE, 1998).

DILLON *et al.*, (1990) *apud* LEITE (1998), mencionam o importante papel dos sedimentos nos mecanismos e processos de funcionamento dos lagos. Embora o

processo sedimentar não possa ser totalmente compreendido por problemas metodológicos relacionados à quantificação da sedimentação em curtos períodos de tempo, pode-se avaliar o fluxo e as taxas de deposição de sedimentos na coluna de água por meio do emprego de câmaras de sedimentação.

3.3 O USO DAS CÂMARAS DE SEDIMENTAÇÃO

O uso de câmaras de sedimentação tem sido amplamente empregado não somente para determinação da deposição de material particulado em suspensão e taxas de sedimentação, mas também em outros estudos como por exemplo: modelos de estado trófico e de substâncias tóxicas, sedimentação de nitrogênio e fósforo, retenção e liberação de fósforo em áreas alagadas, lagos, reservatórios e ambientes costeiros, estudos da variação sazonal específica da comunidade fitoplanctônica, entre outros. No Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) encontram-se várias pesquisas e publicações que utilizaram câmaras de sedimentação, dentre deles pode-se destacar: MARICATO (1994), PIÃO (1995), LEITE (1998) e MARQUISÁ (1998).

MARICATO (1994) analisou o processo de sedimentação no reservatório de Jurumirim e em seus dois principais tributários (rios Paranapanema e Taquari), utilizando câmaras de sedimentação cilíndricas (3:1, relação comprimento/diâmetro), a 30% e 70% da profundidade local com 4 câmaras em cada profundidade, incubadas durante um período de 7 a 11 dias, com o objetivo de relacionar a taxa de sedimentação com os fatores físicos, químicos e biológicos. Concluiu que as variações espaciais e temporais da taxa de sedimentação e dos parâmetros físicos e químicos foram decorrentes de alterações climatológicas na bacia hidrográfica, sendo que as variações da taxa de sedimentação em função da profundidade resultaram do fenômeno da ressuspensão de sedimentos.

PIÃO (1995) estudou o transporte de nitrogênio, fósforo e sedimento pelo ribeirão dos Carrapatos, Itai/SP, utilizando câmaras cilíndricas de acordo com a metodologia descrita em MARICATO (1994), e verificou que as estimativas de

nitrogênio e fósforo foram praticamente o dobro após a zona urbana, provavelmente devido à degradação da quantidade de matéria orgânica introduzida pela cidade.

LEITE (1998) avaliou a taxa de sedimentação que entra no reservatório de Salto Grande pelo rio Atibaia (principal afluente) e pela área de entorno, seus efeitos sobre as características físico-químicas e biológicas do sistema e sua relação com o uso e ocupação da bacia hidrográfica e climatologia. Nas estações de coleta utilizou câmaras de sedimentação na proporção de 3:1 (comprimento : diâmetro), a 30 e 70 % da profundidade local, durante um período de 24 horas. Em seus estudos concluiu que: - os principais fatores que influenciaram o processo de sedimentação foram a precipitação, a vazão, o tempo de residência da água e as atividades na área de entorno do reservatório; - a quantidade de material inorgânico depositado nas câmaras de sedimentação apresenta uma relação direta com o início do período chuvoso; - a deposição de nitrogênio e fósforo total apresenta um comportamento semelhante ao do material em suspensão, com valores máximos nas câmaras de sedimentação incubadas a 70%; - a taxa de sedimentação apresenta um gradiente de deposição no sentido do principal afluente para a barragem.

MARQUISÁ (1998) determinou as taxas de sedimentação de sólidos totais, matéria orgânica, inorgânica, clorofila a, nitrogênio, fósforo, frações de fósforo e metais (Ca, Mn, Fe e Al) mediante armadilhas de sedimentação na represa do Lobo (Broa) e reservatório de Barra Bonita, com tempo de coleta em 48 horas. A composição orgânica do material sedimentado predominou no Broa, enquanto que em Barra Bonita houve predomínio da fração inorgânica. Assim sendo, estas diferenças foram associadas às diferentes características das bacias de drenagem e estados tróficos dos reservatórios. Os fatores externos (vento, precipitação, tempo de retenção e vazão), também foram determinantes dos processos físico-químicos e biológicos, com os mesmos efeitos no Broa e Barra Bonita.

Na utilização das câmaras de sedimentação, diversos problemas podem ocorrer durante o período de incubação das armadilhas. Segundo LEITE (1998), alguns problemas de aspecto físico relacionados com a eficiência de retenção ainda são discutidos, principalmente avaliando-se a alteração da quantidade de material coletado pelas câmaras, como por exemplo: - zooplâncton aprisionados e ativos no interior das armadilhas; - decomposição de matéria orgânica particulada dentro das

câmaras; - ressuspensão do material de fundo para dentro das câmaras. Em relação ao material interceptado pelas armadilhas, esse continuará a se decompor, uma vez que o material orgânico que está sendo depositado nos sedimentos encontra-se em diferentes estágios de decomposição, modificando as características originais principalmente se o tempo de incubação é longo.

Nas avaliações de LEITE (1998) e MARQUISÁ (1998) em relação ao uso das câmaras de sedimentação, a ressuspensão é um dos principais problemas envolvidos no processo de determinação da taxa de sedimentação, podendo até mesmo ser questionada a validade dos resultados de quantificação do transporte da coluna de água ao fundo do leito do lago. A quantidade de material ressuspenso aumenta geralmente perto do fundo e durante períodos de alta energia (vento persistente, ruptura da termoclina, chuva, etc.); sendo que a comparação da composição química das partículas coletadas na coluna de água pelas armadilhas e da camada superficial de sedimentos (fonte potencial da ressuspensão) pode servir para distinguir e quantificar a ressuspensão (MARQUISÁ, 1998).

3.4 MATERIAIS E MÉTODOS

3.4.1 ESTAÇÕES DE COLETA E FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM

Para o monitoramento limnológico do reservatório de Volta Grande em 1999, definiu-se as estações de coleta após os resultados de duas campanhas realizadas no ano de 1998, respectivamente: setembro (mês de transição entre período seco e chuvoso) e dezembro (período chuvoso) para determinação do período de incubação das câmaras de sedimentação.

Etapa 1: a primeira campanha foi utilizada como referência, realizada em 24/09/1998, com doze estações de amostragem (Figura 24), para obter um perfil limnológico ao longo do reservatório. Para cada estação de coleta com o auxílio de um aparelho medidor de qualidade de água, marca HORIBA, modelo U10, foram efetuadas medidas das variáveis pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura. Coletou-se em cada estação amostras de água para análise da

concentração de nutrientes e material em suspensão. As medidas de transparência da água foram obtidas por meio do disco de Secchi com diâmetro de 0,30m.

No mês de setembro os valores médios mensais de precipitação (mm), evaporação (mm), temperatura do ar (°C), umidade relativa (%) e variação do vento (km/h), respectivamente, foram: 10.9 mm, 160.22 mm, 25.8°C, 64.5% e 2.3 km/h. A estação de coleta E2 (córrego Gameleira) foi descartada em função da impossibilidade de coleta da água, devido as dificuldades de acesso, uma vez que este afluente do Rio Grande recebe águas residuárias do Distrito Industrial de Uberaba.

MAPA ESTAÇÕES DE COLETA - QUALIDADE DE ÁGUA

ESCALA 1:300.000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Área urbana
- Distrito Industrial III
- Usina de açúcar e álcool
- Reservatório da UHE - Volta Grande
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande
- Limite interestadual
- Hidrografia
- Estações de Coleta

NOTA EXPLICATIVA

A primeira campanha para estudos limnológicos foi realizada em 24/09/1998 com 12 estações de amostragem. Para cada estação de coleta utilizou-se um aparelho medidor de qualidade de água, marca Horiba - modelo U10. As estações foram localizadas em função das características de uso e ocupação do solo da área no entorno do reservatório.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

Etapa 2: a segunda coleta foi realizada de 01 a 03/12/1998, tendo como base os dados de monitoramento limnológico do reservatório, fornecidos pela CEMIG, e dos resultados da primeira coleta (Etapa 1).

Com o objetivo de avaliar o processo de sedimentação no reservatório foram selecionadas 4 estações de coleta (Figura 25): - a estação CS 01 localiza-se na fase rio, - a CS 02 está situada em uma área cujas partículas sedimentadas são de maior dimensão, - a CS 03 foi instalada próxima de um afluente que recebe águas residuárias do município de Miguelópolis (SP) e a CS 04 pela proximidade da barragem.

As câmaras de sedimentação (Figura 26) foram confeccionadas em PVC na proporção 3:1 (comprimento:diâmetro), com volume médio de 2,2 litros. As câmaras de sedimentação foram instaladas a 70% da profundidade do leito, com tempo de exposição de 48 horas, preenchidas inicialmente com água superficial do reservatório a uma profundidade média de 1,00m e localizadas com GPS.

No mês de dezembro os valores médios mensais de precipitação (mm), evaporação (mm), temperatura do ar (°C), umidade relativa (%) e variação do vento (km/h), respectivamente, foram: 321.5 mm, 152.14 mm, 27.0°C, 92.7% e 1.9 km/h.

Inicialmente, em cada estação utilizou-se o HORIBA modelo U10, efetuando-se medidas das variáveis pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura. Coletou-se amostras de água (profundidade média de 1.00m/superfície) para determinação da concentração de nutrientes e material em suspensão, considerando as frações orgânica e inorgânica. Instalou-se na UHE Volta Grande um laboratório de campo para processar a filtragem das amostras e congelamento a -20°C para posterior análise das concentrações no Laboratório de Limnologia do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da EESC-USP, São Carlos/SP.

No término do período de incubação (48 horas), as câmaras foram retiradas e novamente efetuou-se as medidas de transparência da água, pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura da água.

O período de exposição das câmaras de sedimentação, 48 horas, foi mantido para a Etapa 3 (ano de monitoramento do reservatório - 1999) devido a ocorrência de deposição de material nas armadilhas em quantidade suficiente para análise de laboratório, tanto em período seco como no chuvoso.

MAPA ESTAÇÕES DE COLETA - QUALIDADE DE ÁGUA E TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO

ESCALA 1:300.000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Área urbana
- Distrito Industrial III
- Usina de açúcar e álcool
- Reservatório da UHE - Volta Grande
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande
- Limite interestadual
- Hidrografia
- Estações de Coleta

NOTA EXPLICATIVA

A segunda campanha para estudos limnológicos e determinação de taxas de sedimentação foi realizada no período de 01 a 03/12/1998 com quatro estações de amostragem. Para cada estação de coleta instalou-se câmaras de sedimentação para período de incubação de 48 horas.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira

Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

Figura 26 - Montagem das câmaras de sedimentação utilizadas nas coletas das Etapas 2 e 3.

Figura 27 - Câmaras de sedimentação com material particulado após período de incubação de 48 horas.

Etapa 3: a terceira campanha de coletas foi realizada no ano de 1999, com início em março e término em novembro, respectivamente: março, junho, agosto e novembro, caracterizando um ciclo hidrológico completo.

Com o objetivo de avaliar o processo de sedimentação no reservatório foram mantidas as 4 estações de amostragem da Etapa 2 (Figura 25). O material coletado durante as quatro campanhas mensais obedeceram aos mesmos procedimentos utilizados na Etapa 2.

As armadilhas montadas na estação CS 03 foram perdidas durante as campanhas de março e agosto. Portanto, os resultados de junho e novembro foram descartados.

3.4.2 VARIÁVEIS ANALISADAS

3.4.2.1 VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS

Os valores de precipitação, evaporação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento foram obtidos na estação meteorológica da UHE - Volta Grande/MG, conforme descrição no Capítulo 2.

3.4.2.2 VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS

3.4.2.2.1 Transparência da água

As medidas de transparência da água, em metros, foram realizadas com o auxílio de um disco de Secchi, com diâmetro de 30 cm.

3.4.2.2.2 Temperatura da água, Condutividade, Oxigênio dissolvido e pH

As medidas dos perfis verticais foram obtidas com o auxílio de um amostrador de qualidade de água tipo HORIBA, modelo U10. Na coluna de água efetuou-se medidas de 0.50 m em 0.50 m até a profundidade de 6.0 metros e de metro em metro contado a partir desta profundidade até o fundo.

3.4.2.2.3 Sólidos em suspensão

As análises do material em suspensão foram determinadas de acordo com a técnica gravimétrica descrita em TEIXEIRA *et al.*, (1965).

No início de cada experimento, em cada estação de amostragem, as amostras de água foram coletadas em profundidade média de 1.00 m, acondicionadas em galões de polietileno e levadas para o laboratório de campo, onde foram filtrados 500 ml com réplica. As membranas utilizadas foram do tipo GF/C Whatman. Portanto, o material em suspensão “inicial”(superfície) foi determinado a partir das amostras de água coletada, no início de cada experimento, quando da instalação das câmaras de sedimentação.

As concentrações de material em suspensão total, inorgânico e orgânico foram determinadas, respectivamente, por meio das equações (1), (2) e (3):

$$M.S.T. = [(P2 - P1) / V] \cdot 1000 \quad (1)$$

onde: M.S.T. – material em suspensão total (mg.L⁻¹)

P1 – peso inicial do filtro (g)

P2 – peso do filtro com material coletado após secagem em estufa (g)

V – volume de água utilizado para a filtração (litros)

1000 – conversão para miligramas

$$M.S.I. = [(P3 - P1) / V] \cdot 1000 \quad (2)$$

onde: M.S.I. – material em suspensão inorgânico (mg.L⁻¹)
P1 – peso inicial do filtro (g)
P3 – peso do filtro após queima da matéria orgânica em mufla (g)
V – volume de água utilizado para a filtração (litros)
1000 – conversão para miligramas

$$M.S.O = M.S.T - M.S.I \quad (3)$$

onde: M.S.O. – material em suspensão orgânico (mg.L⁻¹)
M.S.T. – material em suspensão total (mg.L⁻¹)
M.S.I. – material em suspensão inorgânico (mg.L⁻¹)

3.4.2.2.4 Nutrientes totais

As amostras de água para a determinação dos nutrientes totais foram acondicionadas em frascos de polietileno, sem realização de filtração, congeladas a -20°C para análise das concentrações de:

Fósforo total: segundo STANDARD METHODS (1995);

Nitrogênio total: segundo GOLTERMAN *et al.*, (1978).

3.4.2.3 TAXA DE SEDIMENTAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO E TOTAIS NAS CÂMARAS DE SEDIMENTAÇÃO

Para analisar a deposição de material particulado no reservatório utilizou-se a metodologia descrita no item 3.4.1 – Etapa 2. Em cada estação de amostragem utilizou-se quatro câmaras de sedimentação (Figura 26) .

Nos experimentos de LEITE (1998), no início de cada coleta, as câmaras foram preenchidas com água destilada para evitar uma possível deposição de material antes do início do experimento. Neste trabalho somente não foi adotado o procedimento do uso da água destilada, mas em cada início de experimento as câmaras foram preenchidas com água da superfície, em seguida foram retiradas amostras que caracterizam as concentrações iniciais do material em suspensão total, e, logo após realizou a incubação das câmaras a 70% da profundidade total. As câmaras foram amarradas em flutuadores (garrafas plásticas) em função da intensa atividade pesqueira no reservatório.

Após o período de exposição de 48 horas, as câmaras foram retiradas e recolhidos os conteúdos em galões de polietileno de 10 litros, sendo levados ao laboratório de campo. Neste laboratório, o conteúdo dos galões foi previamente homogeneizado e um volume conhecido desta água foi filtrado em membranas do tipo GF/C Whatman, seguindo o mesmo procedimento descrito na determinação do material em suspensão (item 3.4.2.2.3). Os nutrientes totais foram determinados de acordo com a metodologia descrita no item (3.4.2.2.4).

A taxa de sedimentação (TS) foi determinada por meio da equação (4):

$$T.S. = (V_c \cdot C) / (A_c \cdot T) \quad (4)$$

onde: V_c – volume das câmaras de sedimentação (2,20 litros)

C – concentração de material em suspensão dentro das câmaras (mg.L^{-1})

A_c – área da superfície de abertura da câmara de sedimentação ($78,54 \text{ cm}^2$)

T – tempo em dias

3.4.2.4. CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS DO FUNDO

A coleta de sedimentos de fundo foi realizada na semana da terceira campanha (29 a 31/agosto/1999), em 30 de agosto, onde foram selecionadas 17 seções transversais (Figura 28) localizadas em áreas que caracterizam as fases rio, transição, com maior número de amostragem, e lacustre. Em cada seção determinou-se duas estações de amostragem: margens direita e esquerda. Durante o período de amostragem de sedimentos, a distância das margens do corpo do reservatório era de aproximadamente 200 metros em todas as seções, pois o reservatório nesta época do ano sofria uma estiagem e encontrava-se com 1,00 metro abaixo do seu nível normal de operação.

Durante o processo de represamento não houve retirada de nenhuma espécie de cobertura vegetal, assim sendo, nos meses sem chuva e quando o reservatório atinge 1,00 metro abaixo de sua cota máxima normal (494,20 m) é possível observar ao longo de todo o reservatório a extensão das matas ciliares submersas.

As amostras de sedimentos foram retiradas com o auxílio de um amostrador de tubo vertical tipo “Piston Core”, com cilindro receptor de 0,50 m de comprimento. O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos e posteriormente distribuídos em bandejas, secos à sombra, peneirados, embalados em recipientes de 500 g e enviados ao Laboratório de Solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG), Uberaba/MG.

A metodologia usada para determinação da granulometria, matéria orgânica, pH, carbono e nutrientes (fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio) é a do Programa Nacional de Fertilidade de Solo, método também usado no Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Ciências do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras (UFLA).

Considerando que o fósforo é um dos elementos essenciais no processo de eutrofização, foi realizada uma análise dos teores de fósforo encontrados nos sedimentos e nas câmaras de sedimentação.

MAPA ESTAÇÕES DE COLETA - SEDIMENTO DO FUNDO

ESCALA 1:300.000

10 0 10 Km

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Área urbana
- Distrito Industrial III
- Usina de açúcar e álcool
- Reservatório da UHE - Volta Grande
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande
- Limite interestadual
- Hidrografia
- Estações de Coleta

NOTA EXPLICATIVA

A coleta de sedimentos do fundo foi realizada em 30 de agosto de 1999. Em cada seção coletou-se amostras das margens direita e esquerda com o auxílio de um amostrador de sedimento tipo "Piston Core".

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

3.5 RESULTADOS

3.5.1 Temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade e pH

Neste item são apresentados os resultados correspondentes às variáveis analisadas: temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade e pH nas campanhas realizadas nos meses de março, junho, agosto e novembro de 1999, durante o período de incubação das câmaras de sedimentação, apresentados nas Tabelas 05 a 28.

Variáveis medidas “*in situ*” nas coletas de 02 a 04/março/1999.

Estação de Coleta CS 01

Os valores encontrados de pH situam-se entre 5,6 e 6,8 ao longo da coluna de água, tanto para o início como término do experimento.

Para a profundidade máxima (4,0 m) o valor obtido para a condutividade da água foi de $30,0 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, enquanto que desde a superfície até 2,0m obteve-se o valor de $17,0 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, no início do experimento. Após o período de exposição das câmaras de sedimentação (48 horas), o perfil obtido para a condutividade da água foi homogêneo, com valor mínimo de $29,0 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ na superfície e de $30,0 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ para 4,0 m.

Na coleta de 02 a 04/março/99, no início e término do experimento (Tabelas 05 e 06), na estação CS 01 a concentração de oxigênio dissolvido manteve-se homogênea ao longo do perfil de profundidade (0,0 m a 4,0 m).

Não observou-se ocorrência de estratificação térmica no início e nem no término dos experimentos (02 a 04/ março/99), a temperatura da coluna de água manteve-se homogênea.

Tabela 05 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 02/março/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6,22	17	8,77	26,4
2	5,68	17	9,49	26,4
4	5,62	30	9,14	26,4

Tabela 06 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 04/março/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6,8	29	9,3	26,7
2	6,56	29	9,14	26,6
4	6,37	30	9,37	26,6

Estação de Coleta CS 02

Os valores de pH medidos no início estão próximos de 6,0 quando analisados na coluna de água, para um mínimo de 5,69 (2,50 m) e 6,04 na superfície. No término do experimento (04/março/99) os valores de pH sofreram pequenas variações, com maior valor 6,72 na superfície e 5,89 na profundidade máxima (9,0 m).

A condutividade sofreu variações com relação à profundidade, entretanto observou-se uma tendência de aumento da superfície para o fundo em ambos os experimentos. Em geral os valores de condutividade estiveram entre 21 a $30\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$, e de 14 a $46\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$, respectivamente para início e término.

Nos valores de oxigênio dissolvido houveram pequenas variações, mantendo-se entre 7,0 e $8,0\text{mg}.\text{L}^{-1}$ no início da coleta e, no término próximos de $8,0\text{mg}.\text{L}^{-1}$.

Na estação CS 02, no início do experimento (Tabela 07), a coluna de água apresentou homogeneidade térmica, na superfície a temperatura foi de 26,8°C e de 26,3°C na profundidade máxima (9,0 m). Para o dia 04 de março (Tabela 08), retirada das câmaras de sedimentação, observou-se uma estratificação térmica de 0,0 m (superfície) a 3,0 m de profundidade para um gradiente térmico 1,2°C, enquanto que de 3,0 m até o fundo (9,0 m) manteve-se uma temperatura homogênea.

Tabela 07 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 02/março/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6,04	23	7,76	26,8
0,5	5,96	24	7,82	26,8
1	5,76	23	7,94	26,7
1,5	5,75	25	7,84	26,5
2	5,7	21	7,71	26,4
2,5	5,69	30	7,75	26,5
3	5,78	30	7,8	26,4
3,5	5,76	30	7,82	26,4
4	5,79	30	7,74	26,4
4,5	5,81	30	7,65	26,3
5	5,83	30	7,84	26,3
6	5,81	29	7,78	26,3
7	5,79	30	7,57	26,3
8	5,81	30	7,43	26,3
9	5,84	30	7,84	26,3

Tabela 08 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 04/março/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6,72	14	7,82	28,2
0,5	6,54	14	7,56	27,5
1	6,36	14	7,94	27,3
1,5	6,23	14	8,19	27,2
2	6,17	15	8,2	27,1
2,5	6,14	15	8,12	27
3	6,15	15	8,21	27
3,5	6,12	16	8,01	26,9
4	6,12	15	7,94	26,9
4,5	6,13	29	8,25	26,9
5	6,14	29	7,76	26,9
6	6,11	29	8,01	26,8
7	6,11	29	8,03	26,8
8	6,07	29	8,14	26,8
9	5,89	46	7,28	26,7

Estação de Coleta CS 04

Os valores encontrados de pH situam-se entre 6,0 e 7,0 (Tabela 09) ao longo da coluna de água, tanto para o início como término do experimento. O maior valor de pH no início foi de 6,69 e o menor foi de 5,85. Para o término (04/março/99) (Tabela 10), a medida do maior valor foi 7,47 e o menor de 5,93.

Os valores de condutividade na coluna de água ficaram entre 17 a $28\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ no início da coleta e entre 21 a $28\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ após 48 horas.

Nos valores de oxigênio dissolvido houveram pequenas variações, entre 7,41 e 8,87 $\text{mg}.\text{L}^{-1}$ no início da coleta, e, no término registrou-se valores entre 7,11 e 9,17 $\text{mg}.\text{L}^{-1}$.

No início do experimento (02/março/99), a temperatura manteve-se constante em 27,6°C desde 0,0 m a 3,0 m, a partir desta profundidade até 7,0 m variou em 0,3°C. A temperatura manteve-se constante em 27,3°C de 7,0 m a 20,0 m de profundidade, diminuindo em 0,1°C até atingir a profundidade máxima (22,0 m). No término do experimento (04/março/99) na estação de coleta CS 04, ocorreu uma variação de 2,0°C, desde a superfície até 10,0 m. Da profundidade de 10,0 m até o fundo (22,0 m) a temperatura manteve-se homogênea com uma variação de 0,2°C.

Tabela 09 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 02/março/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6,69	22	8,53	27,6
1	6,54	25	8,87	27,6
2	6,28	23	8,72	27,6
3	6,28	25	8,71	27,6
4	6,17	18	8,32	27,5
5	6,06	17	8,02	27,4
6	5,98	28	8,17	27,4
7	5,97	28	7,71	27,3
8	5,91	28	7,81	27,3
9	5,88	28	7,85	27,3
10	5,85	28	7,48	27,3
11	5,87	24	7,9	27,3

Tabela 9 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 02/março/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
12	5,87	28	7,53	27,3
13	5,89	28	7,69	27,3
14	5,93	28	7,72	27,3
15	5,92	27	7,61	27,3
16	5,95	20	7,41	27,3
17	5,91	28	7,56	27,3
18	5,96	28	7,53	27,3
19	5,94	27	7,59	27,3
20	5,98	28	7,73	27,3
21	5,98	28	7,63	27,2
22	6	28	7,72	27,2

Tabela 10 – Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 04/março/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	7,46	23	9,17	29,3
1	7,47	21	8,86	29,3
2	6,88	23	8,94	28,3
3	6,55	23	8,59	27,9
4	6,32	24	8	27,8
5	6,11	24	7,6	27,7
6	6,02	25	7,87	27,5
7	6,03	26	7,82	27,5

Tabela 10 – Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 04/março/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
8	6,05	26	7,77	27,4
9	6,04	26	7,92	27,4
10	6,03	27	7,96	27,3
11	5,99	27	7,79	27,2
12	5,99	27	7,76	27,2
13	6	27	7,85	27,2
14	6,01	27	7,9	27,2
15	5,98	28	7,86	27,2
16	5,99	28	7,55	27,1
17	6,01	28	7,52	27,1
18	6	28	7,6	27,1
19	6	28	7,35	27,1
20	5,96	28	7,72	27,1
21	5,93	28	7,11	27,1
22	5,93	28	7,37	27,1

Variáveis medidas “*in situ*” nas coletas de 28 a 30/junho/1999.

Estação de Coleta CS 01

Os valores encontrados de pH situam-se entre 6,4 e 7,3 ao longo da coluna de água, tanto para o início como término do experimento, Tabelas 11 e 12, respectivamente.

Os valores de condutividade na coluna de água foram homogêneos tanto para o início quanto após 48 horas (período de exposição das câmaras de sedimentação). O valor médio obtido para condutividade da água foi de $30,0 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$.

Em 28/junho/99 na estação CS 01 a concentração de oxigênio dissolvido manteve-se homogênea ao longo do perfil de profundidade (0,0 m a 4,0 m). Após o

período de exposição das câmaras (48 horas) observou-se valores maiores próximos de $9,0 \text{ mg.L}^{-1}$.

Não observou-se ocorrência de estratificação térmica, no início e término dos experimentos (28 a 30/junho/99), na coluna de água para a estação CS 01. A temperatura da coluna de água manteve-se constante em $21,20^{\circ}\text{C}$ (28/jun) e $21,60^{\circ}\text{C}$ (30/jun).

Tabela 11 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S/cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 28/junho/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S/cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6,51	31	7,81	21,2
2	6,53	31	7,8	21,2
4	6,47	31	7,89	21,2

Tabela 12 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S/cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 30/junho/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S/cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	7,27	30	8,73	21,6
2	7,17	31	8,92	21,6
4	7,03	30	8,92	21,6

Estação de Coleta CS 02

Os valores de pH na superfície (0,0 m) e fundo (9,0 m) foram 6,84 e 6,34, respectivamente, e pode-se observar que na coluna de água mantiveram-se valores homogêneos entre os respectivos limites, tanto para o início da instalação das câmaras quanto no término do período de exposição (Tabelas 13e 14).

No início da instalação das câmaras de sedimentação, os perfis de condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura mantiveram-se homogêneos, com valores próximos de $31,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, $8,50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e $21,7^\circ\text{C}$, respectivamente.

Quanto aos valores de condutividade medidos ao se retirar as câmaras pode-se observar um perfil constante em $31,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ desde a superfície até a profundidade máxima.

A menor concentração de oxigênio dissolvido foi $8,04 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (5,5 m) e a maior $8,44 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 0,50 m da superfície, mantendo-se homogeneidade no perfil, também em 48 horas.

O perfil térmico para 48 horas, retirada das câmaras de sedimentação, variou de $0,5^\circ\text{C}$ de 0,0 m a 2,50 m, e de 2,50 m a 4,00 m manteve um perfil isotérmico de $21,9^\circ\text{C}$, e de 4,50 m a 9,00 m um valor constante de $21,8^\circ\text{C}$.

Tabela 13 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^\circ\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 28/junho/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^\circ\text{C}$)
0	6,82	30	8,38	21,7
0,5	6,79	30	8,41	21,7
1	6,72	31	8,43	21,7
1,5	6,72	31	8,45	21,7
2	6,71	31	8,46	21,7
2,5	6,69	31	8,48	21,7
3	6,63	31	8,47	21,7
3,5	6,65	31	8,43	21,7
4	6,63	31	8,44	21,6
4,5	6,62	31	8,48	21,6

Tabela 13 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 28/junho/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
5	6,6	31	8,45	21,6
5,5	6,6	31	8,52	21,6
6	6,56	31	8,48	21,6
7	6,54	30	8,54	21,6
8	6,53	30	8,51	21,6
9	6,49	30	8,53	21,6

Tabela 14 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 30/junho/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6,84	31	8,36	22,4
0,5	6,77	31	8,44	22,1
1	6,74	31	8,43	22,1
1,5	6,74	31	8,41	22,1
2	6,72	31	8,36	22
2,5	6,72	31	8,19	21,9
3	6,67	31	8,18	21,9
3,5	6,66	31	8,27	21,9
4	6,62	31	8,31	21,9
4,5	6,62	31	8,18	21,8
5	6,6	31	8,11	21,8

Tabela 14 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 30/junho/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
5,5	6,55	31	8,04	21,8
6	6,5	31	8,1	21,8
7	6,45	31	8,18	21,8
8	6,39	31	8,23	21,8
9	6,34	31	8,2	21,8

Estação de Coleta CS 04

As medidas de pH apresentaram pequenas variações com valores decrescentes em relação à profundidade, pH 6,93 em 0,0 m e pH 6,17 em 22,0 m, mesmo assim pode-se observar um perfil homogêneo com valores entre 6,0 e 7,0 para 28/jun. Em 48 horas, a maior medida de pH foi de 7,75 a 3,00 m e o menor pH 5,81 na profundidade de 22,0 m.

Quanto aos valores de condutividade medidos no início e término do experimento (Tabelas 15 e 16), pode-se observar um perfil homogêneo próximo de $30,0 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ desde a superfície até a profundidade máxima.

A menor concentração de oxigênio dissolvido foi $8,27 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$ (19,0 m) e a maior $8,57 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$ a 3,0 e 4,0 m da superfície, mantendo-se homogeneidade no perfil entre 8,0 a $8,6 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$, em 28/jun (início). Após 48 horas, os valores de oxigênio dissolvido foram maiores de modo geral do que as concentrações do perfil inicial, sendo que a maior concentração foi de $9,56 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$ (2,0 m) e a menor foi $7,66 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$ (20,0 m).

O perfil de temperatura medido no início da coleta variou de $0,2^{\circ}\text{C}$ de 0,0 m a 6,0 m, de 6,0 a 12,0 m a temperatura manteve-se constante em $21,7^{\circ}\text{C}$, desta profundidade até a profundidade máxima (22,0 m) foi constante em $21,6^{\circ}\text{C}$. Após 48 horas (término), pode-se observar a ocorrência de um gradiente térmico de $1,7^{\circ}\text{C}$.

Tabela 15 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 28/junho/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6,93	30	8,53	21,9
1	6,88	30	8,52	21,9
2	6,86	30	8,47	21,8
3	6,86	30	8,57	21,8
4	6,79	30	8,57	21,8
5	6,8	30	8,54	21,8
6	6,73	30	8,52	21,7
7	6,71	30	8,48	21,7
8	6,69	30	8,46	21,7
9	6,61	30	8,47	21,7
10	6,6	30	8,49	21,7
11	6,55	30	8,55	21,7
12	6,53	30	8,51	21,7
13	6,55	30	8,44	21,6
14	6,43	29	8,44	21,6
15	6,4	29	8,38	21,6
16	6,35	29	8,31	21,6
17	6,32	29	8,29	21,6
18	6,29	29	8,33	21,6
19	6,25	29	8,27	21,6
20	6,22	29	8,34	21,6
21	6,19	29	8,31	21,6
22	6,17	29	8,36	21,6

Tabela 16 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 30/junho/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	7,42	30	9,32	23,1
1	7,51	30	9,29	22,9
2	7,72	30	9,56	22,5
3	7,75	30	9,5	22,2
4	7,46	30	9,23	22,1
5	7,18	30	8,87	22
6	6,81	30	8,58	21,9
7	6,73	30	8,53	21,8
8	6,63	30	8,46	21,8
9	6,54	30	8,49	21,8
10	6,42	30	8,29	21,7
11	6,4	30	8,32	21,7
12	6,36	30	8,17	21,7
13	6,31	29	8,25	21,7
14	6,26	29	8,18	21,6
15	6,19	29	8,17	21,6
16	6,12	29	8,13	21,5
17	6,05	29	8	21,5
18	6	29	8,01	21,5
19	5,96	29	8	21,5
20	5,91	29	7,66	21,5
21	5,84	29	7,83	21,4
22	5,81	29	7,91	21,4

Variáveis medidas “*in situ*” nas coletas de 29 a 31/agosto/1999.

Estação de Coleta CS 01

No início e término dos experimentos pode-se observar para os perfis de pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura que mantiveram-se praticamente constantes, de acordo com os dados apresentados nas Tabelas 17 e 18.

Tabela 17 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 29/agosto/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6,55	35	8,43	21,8
2	6,55	35	8,47	21,8
4	6,57	35	8,51	21,8

Tabela 18 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 31/agosto/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6,79	35	8,51	21,4
2	6,79	35	8,52	21,4
4	6,75	35	8,56	21,4

Estação de Coleta CS 02

As medidas de pH para o período de coleta (29 a 31/ago, Tabelas 19 e 20), ocorreram entre 6,3 a 6,7, caracterizando um perfil homogêneo. No período do experimento observou-se valores constantes para a condutividade ($35 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$).

Em relação aos valores de oxigênio dissolvido, também no período de exposição das câmaras, pode-se observar perfis homogêneos com valores compreendidos entre 8,2 mg.L⁻¹ a 8,6 mg.L⁻¹.

Os perfis de temperatura variaram em 0,3°C no início da instalação das câmaras e de 0,2°C no término do experimento, com perfis homogêneos de temperatura com valor mínimo de 22,1°C e máximo de 22,5°C.

Tabela 19 - Valores de pH, condutividade (µS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 29/agosto/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		(µS/cm)	(mg/L)	(°C)
0	6,44	35	8,22	22,5
0,5	6,47	35	8,26	22,5
1	6,42	35	8,28	22,4
1,5	6,44	35	8,31	22,4
2	6,44	35	8,33	22,4
2,5	6,44	35	8,36	22,4
3	6,4	35	8,37	22,3
3,5	6,41	35	8,38	22,3
4	6,41	35	8,41	22,3
4,5	6,39	35	8,43	22,2
5	6,42	35	8,47	22,2
6	6,38	35	8,5	22,2
7	6,42	35	8,53	22,2
8	6,38	35	8,53	22,2
9	6,34	35	8,53	22,2

Tabela 20 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 31/agosto/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6,72	35	8,3	22,3
0,5	6,71	35	8,32	22,2
1	6,7	35	8,34	22,2
1,5	6,68	35	8,35	22,2
2	6,67	35	8,38	22,2
2,5	6,65	35	8,42	22,2
3	6,66	35	8,44	22,2
3,5	6,63	35	8,46	22,2
4	6,63	35	8,48	22,1
4,5	6,62	35	8,48	22,1
5	6,6	35	8,51	22,2
6	6,59	35	8,5	22,1
7	6,58	35	8,53	22,1
8	6,6	35	8,54	22,1
9	6,49	39	8,56	22,1

Estação de Coleta CS 04

Os valores encontrados de pH apresentaram pequenas variações entre 6,6 e 7,7 ao longo da coluna de água para o início do experimento (Tabela 21). Para o término (31/agosto/99) a medida do maior valor de pH foi 7,6 e o menor de 6,42 (Tabela 22). As medidas de pH apresentaram pequenas variações com valores decrescentes em relação à profundidade, no período de experimentação, e pode-se observar um perfil homogêneo.

Quanto aos valores de condutividade medidos no início e término do experimento, pode-se observar um perfil homogêneo variando entre 34,0 e 35,0 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$.

Em 29/ago (início), a medida da menor concentração de oxigênio dissolvido foi 7,99 mg.L⁻¹ (0,0 m) e a maior 9,15 mg.L⁻¹ (22,0 m), ocorrendo um perfil crescente das concentrações de O₂ em relação à profundidade. Após 48 horas, os valores de oxigênio dissolvido foram maiores de modo geral do que as concentrações do perfil inicial e mantendo a mesma ocorrência das concentrações iniciais, menor valor na superfície (8,02 mg.L⁻¹) e maior na profundidade máxima (22,0 m) com 9,21 mg.L⁻¹

Os perfis de temperatura variaram em 0,3°C de 0,0 m a 7,0m e temperatura constante em 23°C de 7,0 a 9,0 m. Ocorreu uma estratificação térmica de 9,0 a 22,0m com um gradiente térmico de 1,9°C no início da instalação das câmaras. No término do experimento, observou a ocorrência de um perfil térmico decrescente apresentando gradiente térmico de 2,4°C, com valores máximos de 23,6°C (0,0 m) e mínimo de 21,2°C.

Tabela 21 - Valores de pH, condutividade (µS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 29/agosto/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		(µS/cm)	(mg/L)	(°C)
0	7,58	35	7,99	23,3
1	7,62	35	8,01	23,3
2	7,6	35	8,03	23,3
3	7,57	35	8,04	23,3
4	7,58	35	8,1	23,2
5	7,6	35	8,13	23,1
6	7,67	35	8,18	23,1
7	7,59	35	8,22	23
8	7,61	35	8,24	23
9	7,56	35	8,27	23
10	7,57	35	8,28	22,9

Tabela 21 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 29/agosto/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
11	7,35	35	8,48	22,4
12	7,16	35	8,63	22,1
13	7,01	35	8,65	21,7
14	6,85	34	8,86	21,6
15	6,82	34	8,89	21,5
16	6,76	34	8,93	21,5
17	6,7	34	8,96	21,4
18	6,68	34	8,99	21,4
19	6,7	34	9,03	21,3
20	6,64	34	9,06	21,2
21	6,63	34	9,11	21,1
22	6,55	33	9,15	21

Tabela 22 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 31/agosto/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	7,6	35	8,02	23,6
1	7,58	35	8,07	23,6
2	7,52	35	8,12	23,5
3	7,49	35	8,15	23,4
4	7,49	35	8,23	23,3
5	7,47	35	8,3	23,2

Tabela 22 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 31/agosto/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
6	7,36	35	8,37	23,1
7	7,28	35	8,42	23,1
8	7,25	35	8,44	23
9	7,11	35	8,52	22,7
10	7,04	34	8,64	22,5
11	6,9	34	8,67	22,1
12	6,87	34	8,92	21,8
13	6,78	34	8,98	21,7
14	6,75	34	9,03	21,6
15	6,75	34	9,05	21,6
16	6,7	34	9,08	21,5
17	6,69	34	9,09	21,5
18	6,66	34	9,13	21,4
19	6,66	34	9,16	21,4
20	6,54	34	9,18	21,3
21	6,58	34	9,18	21,2
22	6,42	34	9,21	21,2

Variáveis medidas “*in situ*” nas coletas de 17 a 19/novembro/1999.

Estação de Coleta CS 01

No início e término dos experimentos pode-se observar para os perfis de pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura que mantiveram-se praticamente constantes, de acordo com os dados apresentados nas Tabelas 23 e 24.

Tabela 23 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 17/novembro/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6,6	36	6,86	24,4
2	6,38	35	6,87	24,4
4	6,24	35	7,1	24,4

Tabela 24 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 19/novembro/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 01.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6	35	7,04	24,4
2	6	35	7,03	24,4
4	5,96	35	7,05	24,4

Estação de Coleta CS 02

As medidas iniciais de pH (Tabela 25) sofreram pequenas variações ao longo da coluna de água, sendo que o pH mais elevado foi de 6,14 na superfície e o mais baixo foi de 5,31 na profundidade de 5,0 m e na profundidade máxima (9,0 m) o pH foi 5,4. Observou-se que para o término do experimento (Tabela 26) as medidas de pH apresentaram características semelhantes às medidas iniciais, com valores compreendidos entre 5,33 e 6,14.

Quanto aos valores de condutividade medidos no início e término do experimento, pode-se observar um perfil homogêneo variando entre 35,0 e 36,0 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$.

A concentração de oxigênio dissolvido sofreu pequenas variações, porém observou-se um aumento em relação à profundidade durante o período do experimento. Em 17/nov a concentração foi de 6,90 $\text{mg}.\text{L}^{-1}$ na superfície e

7,37 mg.L⁻¹ em 9,0 m (profundidade máxima). Após 48 horas, os valores medidos foram de 6,83 mg.L⁻¹ em 0,0 m e de 7,25 mg.L⁻¹ na profundidade máxima (9,0 m).

Os perfis de temperatura variaram em 0,2°C de 0,0 m a 3,5m, temperatura constante em 24,9°C de 3,5 a 6,0 m e de 7,0 a 9,0 m temperatura de 24,8°C. No término do experimento, ocorreu uma variação térmica de 0,5°C entre 0,0 a 1,5m. De 1,5 a 2,5 m observou-se a ocorrência de um perfil térmico constante de 25,2°C e dentre as profundidades de 3,0 a 9,0 m uma temperatura constante de 25,1°C.

Tabela 25 - Valores de pH, condutividade (µS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 17/novembro/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		(µS/cm)	(mg/L)	(°C)
0	6,14	35	6,9	25,1
0,5	6,13	35	7,02	25,1
1	5,92	35	7,07	25,1
1,5	5,82	35	7,1	25,1
2	5,62	35	7,12	25
2,5	5,49	35	7,17	25
3	5,4	35	7,19	25
3,5	5,34	35	7,21	24,9
4	5,33	36	7,22	24,9
4,5	5,32	36	7,26	24,9
5	5,31	36	7,29	24,9
5,5	5,32	36	7,29	24,9
6	5,32	36	7,31	24,9
7	5,34	36	7,32	24,8
8	5,33	35	7,35	24,8
9	5,4	35	7,37	24,8

Tabela 26 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 19/novembro/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 02.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6,14	35	6,83	25,7
0,5	5,95	35	6,82	25,4
1	5,72	35	6,92	25,3
1,5	5,59	35	7,08	25,2
2	5,5	35	7,13	25,2
2,5	5,5	35	7,14	25,2
3	5,45	35	7,18	25,1
3,5	5,44	36	7,2	25,1
4	5,45	36	7,21	25,1
4,5	5,43	36	7,24	25,1
5	5,45	36	7,22	25,1
5,5	5,46	36	7,25	25,1
6	5,43	36	7,24	25,1
7	5,37	36	7,25	25,1
8	5,33	36	7,28	25,1
9	5,36	35	7,25	25,1

Estação de Coleta CS 04

Na estação de coleta CS 04 em 17/nov (Tabela 27) observou-se que as medidas de pH apresentaram pequenas variações com maior valor na superfície (pH 6,97) e menor valor a 22,0 m de profundidade (pH 5,70). Quando da retirada das câmaras de sedimentação, em 19/nov, as medidas de pH mantiveram-se com variações pequenas, porém as medidas obtidas apresentaram valores menores que as do perfil inicial, sendo que o maior valor foi para a superfície (pH 6,58) e o menor para a profundidade de 22,0 m (pH 5,56), dados apresentados na Tabela 28.

A condutividade no início do experimento apresentou valores de 33,0 e 34,0 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$, enquanto que no término variou entre 33,0 a 35,0 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$.

A concentração de oxigênio dissolvido sofreu pequenas variações, porém observou-se um aumento em relação à profundidade durante o período do experimento. Em 17/nov a concentração foi de 6,75 mg.L⁻¹ na superfície e 7,47 mg.L⁻¹ em 22,0 m (profundidade máxima). Após 48 horas, os valores medidos foram de 6,40 mg.L⁻¹ em 0,0 m e de 7,51 mg.L⁻¹ na profundidade máxima (22,0 m).

O perfil de temperatura variou em 1,3°C de 0,0 m a 10,0 m, temperatura constante em 25,0°C de 10,0 a 20,0 m e de 20,0 a 22,0 m a temperatura diminuiu em 0,1°C. No término do experimento, ocorreu uma variação térmica de 2,2°C entre 0,0 a 9,0 m. De 9,0 a 14,0 m observou-se a ocorrência de um perfil térmico constante de 24,8°C e dentre as profundidades de 15,0 a 22,0 m uma temperatura constante de 24,7°C.

Tabela 27 - Valores de pH, condutividade (µS/cm), temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 17/novembro/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		(µS/cm)	(mg/L)	(°C)
0	6,97	33	6,75	26,3
1	6,73	34	6,84	26,3
2	6,48	34	6,94	25,9
3	6,31	34	7,11	25,3
4	6,19	34	7,2	25,2
5	6,15	34	7,24	25,2
6	6,14	34	7,28	25,2
7	6,13	34	7,3	25,1
8	6,13	34	7,34	25,1
9	6,16	34	7,35	25,1

Tabela 27 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 17/novembro/1999, início do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
10	6,18	34	7,37	25
11	6,2	34	7,38	25
12	6,03	34	7,4	25
13	6,03	34	7,39	25
14	6,15	34	7,4	25
15	6,25	34	7,43	25
16	5,86	34	7,42	25
17	5,86	34	7,44	25
18	5,88	33	7,44	25
19	5,84	33	7,45	25
20	5,81	33	7,47	25
21	5,81	33	7,48	24,9
22	5,7	33	7,47	24,9

Tabela 28 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 19/novembro/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
0	6,58	34	6,4	27
1	6,37	34	6,68	26,3
2	6,11	34	6,88	25,9
3	6,05	34	7,03	25,6
4	6,01	34	7,13	25,4

Tabela 28 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e oxigênio dissolvido (mg/L), na coleta de 19/novembro/1999, término do experimento das câmaras de sedimentação na estação de coleta CS 04.

Profundidade	pH	Condutividade	Oxigênio Dissolvido	Temperatura
(m)		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	(mg/L)	($^{\circ}\text{C}$)
5	5,88	34	7,24	25,1
6	5,77	34	7,29	24,9
7	5,67	35	7,34	24,9
8	5,63	35	7,41	24,9
9	5,67	35	7,41	24,8
10	5,69	35	7,41	24,8
11	5,67	35	7,42	24,8
12	5,64	34	7,46	24,8
13	5,64	34	7,47	24,8
14	5,63	34	7,46	24,8
15	5,61	34	7,49	24,7
16	5,57	34	7,51	24,7
17	5,6	34	7,52	24,7
18	5,56	34	7,51	24,7
19	5,53	33	7,5	24,7
20	5,58	33	7,51	24,7
21	5,59	33	7,5	24,7
22	5,6	33	7,51	24,7

3.5.2 Transparência da água

Estudos comparativos da transparência da coluna de água medida pelo desaparecimento visual do disco de Secchi, em metros, em cada campanha de experimento para as estações de coleta (CS 01, CS02 e CS04), no início e término do período de exposição das câmaras de sedimentação estão apresentados nas Tabelas 29 a 32 e Figuras 29 a 32. De acordo com ESTEVES (1988), os valores obtidos para a profundidade do disco de Secchi em águas claras são mais reais, visto

que nestas condições ocorre pouca dispersão da radiação, conseqüentemente a radiação refletida a partir da superfície do disco é, em grande parte, captada pelo olho do observador. O reservatório de Volta Grande possui água do tipo clara. De acordo com WETZEL & LIKENS (1991) *apud* CALIJURI (1999), o valor da transparência obtida com o disco de Secchi é uma função da reflexão da luz da superfície do disco, e por isso, é afetado por características da água como a cor e a turbidez.

Na primeira campanha de coleta (02 a 04/março/1999), Tabela 29, pode-se observar que as medidas de transparência da coluna de água mantiveram valores iguais para a estação CS 01 (1,60m) e valores próximos para a estação CS 04 (2,70m e 3,00m), respectivamente, início e término. Nesta coleta, a estação CS 02 apresentou um valor de transparência maior no término do que no início, respectivamente 2,90m e 2,00m.

Tabela 29 - Transparência da coluna de água, em metros, nas estações de coleta no período experimental de 02 a 04/março/1999.

Estação de coleta	INÍCIO			TÉRMINO		
	Data	Hora	Transparência (metros)	Data	Hora	Transparência (metros)
CS 01	02/mar	11:00	1,60	04/mar	10:30	1,60
CS 02	02/mar	12:00	2,00	04/mar	11:45	2,90
CS 04	02/mar	13:35	2,70	04/mar	14:30	3,00

Quando da realização do segundo experimento (Tabela 30), período de 28 a 30/junho/1999, as medidas de transparência da coluna de água nas estações de coleta não sofreram grandes variações, ou seja: Início – CS 01 (5,80m), CS 02 (4,30m) e CS 04 (4,60m) e Término - CS 01 (5,50m), CS 02 (4,60m) e CS 04 (4,10m). Convém ressaltar que no mês de junho/99 não houve ocorrência de precipitações, exceto em 04 e 29/jun com respectivamente 0,3 e 8,9 mm. Em decorrência da precipitação de 8,90mm e de ventos com velocidade de 3,0 km/h, constata-se por meio da Figura 30 que as medidas de transparência da água na estação CS 04 (próxima da barragem) foi menor em relação à sua medida inicial

No terceiro experimento (29 a 31/agosto/1999), Tabela 31, as medidas iniciais da transparência da água para as estações de coleta foram menores (CS 01 – 4,90m; CS 02 – 4,80m e CS 04 – 4,40m) do que após 48 horas (CS 01 – 5,20m; CS 02 – 5,30m e CS 04 – 4,70m). A estação de coleta CS 02 apresentou a maior medida de transparência da água no término de incubação das câmaras de sedimentação.

No quarto experimento (17 a 19/novembro/1999), Tabela 32, as medidas de transparência da água foram iguais em 5,0m para as estações de coleta (CS 01, CS 02 e CS 04) nesse período.

A Figura 29 mostra que existe um aumento gradativo nas medidas de transparência da água ao longo do reservatório em direção à barragem. A estação CS 01 localizada à montante da zona de transição, região sob influência do rio Grande, apresentou menor medida no período de observações devido a ocorrência de precipitações (15,6 mm em 01/março/1999) caracterizando-se sob influência de uma área de elevado aporte de material em suspensão de origem alóctone. Nas estações CS 02 e CS 04 pode-se observar que após a ocorrência da precipitação é notada a variabilidade espacial e temporal do reservatório em um período de 48 horas, sendo que as medidas obtidas de 02 a 04/março/1999 caracterizaram-se em rápidas modificações no sistema Volta Grande.

Como a quantidade de material particulado em suspensão, Tabelas 33 a 36, na coluna de água afeta diretamente a sua transparência, os resultados obtidos com o emprego do disco de Secchi confirmaram as características espacial e temporal do reservatório de Volta Grande.

No reservatório de Barra Bonita (Barra Bonita – SP), de acordo com CALIJURI (1999), durante o ano de estudos, a transparência da água foi maior em maio/1994 (3,20m), sendo que em outubro/1993 (0,93m) e dezembro/1993 (1,10m) ocorreram os menores valores para transparência de água.

Segundo LEITE (1998), no reservatório de Salto Grande (Americana – SP), devido às entradas pontuais e difusas de material alóctone e à elevada produção autóctone, os valores de transparência da água raramente ultrapassaram 1,0m.

De acordo com HENRY (1993), na região mais próxima à barragem na represa de Jurumirim (SP), a média anual da transparência da água é de 2,76m,

atingindo na estação seca o valor de 2,0m em julho, na chuvosa de 2,60m em janeiro e 3,12m em fevereiro.

Tabela 30 - Transparência da coluna de água, em metros, nas estações de coleta no período experimental de 29 a 30/junho/1999.

Estação de coleta	INÍCIO			TÉRMINO		
	Data	Hora	Transparência (metros)	Data	Hora	Transparência (metros)
CS 01	28/jun	10:15	5,80	30/jun	10:30	5,50
CS 02	28/jun	11:40	4,30	30/jun	12:00	4,60
CS 04	28/jun	13:30	4,60	30/jun	15:20	4,10

Tabela 31 - Transparência da coluna de água, em metros, nas estações de coleta no período experimental de 29 a 31/agosto/1999.

Estação de coleta	INÍCIO			TÉRMINO		
	Data	Hora	Transparência (metros)	Data	Hora	Transparência (metros)
CS 01	29/ago	11:00	4,90	31/ago	09:40	5,20
CS 02	29/ago	11:50	4,80	31/ago	11:30	5,30
CS 04	29/ago	14:40	4,40	31/ago	17:00	4,70

Tabela 32 - Transparência da coluna de água, em metros, nas estações de coleta no período experimental de 17 a 19/novembro/1999.

INÍCIO				TÉRMINO		
Estação de coleta	Data	Hora	Transparência (metros)	Data	Hora	Transparência (metros)
CS 01	17/nov	10:50	5,00	19/nov	09:40	5,00
CS 02	17/nov	12:00	5,00	19/nov	11:00	5,00
CS 04	17/nov	13:50	5,00	19/nov	14:50	5,00

Figura 29 - Transparência do disco de Secchi, em metros, nas estações de coleta no início e término do período de exposição das câmaras de sedimentação, março/1999.

Figura 30 - Transparência do disco de Secchi, em metros, nas estações de coleta no início e término do período de exposição das câmaras de sedimentação, junho/1999.

Figura 31 - Transparência do disco de Secchi, em metros, nas estações de coleta no início e término do período de exposição das câmaras de sedimentação, agosto/1999.

Figura 32 - Transparência do disco de Secchi, em metros, nas estações de coleta no início e término do período de exposição das câmaras de sedimentação, novembro/1999.

3.5.3 Concentrações e taxas de sedimentação de material em suspensão

3.5.3.1 Material em suspensão e suas frações orgânicas e inorgânicas

As concentrações de material em suspensão total (M.S.T), orgânico (M.S.O) e inorgânico (M.S.I), em mg.L^{-1} , obtidas nas estações de coleta (CS 01, CS 02 e CS 04) na superfície e à 70% da profundidade do fundo, respectivamente início e término do experimento estão apresentadas nas Tabelas 33 a 36 e Figuras 33 a 36.

Observa-se que os valores iniciais de M.S.T foi maior no primeiro experimento (02 a 04/março/1999), do que nos demais, exceto na coleta de 17/novembro (Tabela 36) para a estação CS 02. O significativo aumento das concentrações nessas coletas foi em função da ocorrência de precipitações. Convém ressaltar que nos meses de junho e agosto (período seco), observa-se uma menor entrada de material em suspensão total inicial (Tabelas 34 e 35), juntamente com um aumento da fração orgânica devido provavelmente a uma maior transparência e tempo de residência da água.

Nas coletas de março e novembro a fração do M.S.I inicial foi maior que a orgânica, exceto para a CS 04 em 17/novembro. A fração M.S.O foi maior na estação de coleta CS 04 (próxima da barragem) para o primeiro, segundo e terceiro experimentos na fase inicial das coletas, conforme apresentado nas Figuras 33, 34 e 35.

Em relação ao período de exposição das câmaras de sedimentação (48 horas), a 70% da profundidade local, a estação de coleta CS 02 apresentou maiores valores de M.S.T em todas as campanhas de campo (Figura 33 a 36). Na estação CS 02 a fração M.S.I foi maior que a orgânica e, no quarto experimento em 19/novembro obteve-se valor máximo de $356,87 \text{ mg.L}^{-1}$. Enquanto que na estação CS 01 em 04/março obteve-se o menor valor de M.S.T ($12,0 \text{ mg.L}^{-1}$).

A montante desta barragem localiza-se a UHE de Igarapava, então provavelmente não apenas a ocorrência de precipitações mas também a cobertura vegetal e o uso do solo no entorno do reservatório de Volta Grande são fatores importantes para a contribuição de material particulado para os cursos de água e interior da reservatório.

HENRY & GOUVEIA (1994), estudaram os possíveis efeitos do uso do solo e da morfologia da bacia de drenagem do Alto Paranapanema no transporte de material particulado. Os autores descrevem que a região é de aptidão agrícola mista com predomínio de pastagens e florestas, enquanto que na bacia do Rio Taquari predominam áreas de reflorestamento e florestas.

LEITE (1998), em seus estudos no reservatório de Salto Grande (Americana-SP), concluiu que o Rio Atibaia é a principal fonte de material em suspensão, principalmente inorgânico (alóctone), aumentando consideravelmente no período das chuvas em decorrência do carreamento da camada superficial dos solos das margens do rio, atingindo valores de $350,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de material em suspensão inicial total. No período seco, o autor observou uma menor entrada de material em suspensão inicial de origem alóctone, nos meses de abril a julho/1997 com valores próximos a $15,0 \text{ mg.L}^{-1}$.

MARQUISÁ (1998) registrou na Represa do Lobo (Broa), em outubro de 1995, o menor e o maior valor de material em suspensão total, $3,15 \text{ mg.L}^{-1}$ na superfície e $7,71 \text{ mg.L}^{-1}$ no fundo, e em setembro de 1996 observou valores altos em toda a coluna de água, com uma média de $7,1 \text{ mg.L}^{-1}$.

Tabela 33 – Concentrações de material em suspensão total (M.S.T.), orgânico (M.S.O.) e inorgânico (M.S.I.) em (mg.L^{-1}) obtidas nas estações de coleta no período experimental de 02 a 04/março/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.

Estação de coleta	INÍCIO			TÉRMINO		
	M.S.T	M.S.O.	M.S.I.	M.S.T.	M.S.O.	M.S.I.
	(mg.L^{-1})			(mg.L^{-1})		
CS 01	4,60	1,60	3,00	12,0	2,40	9,60
CS 02	2,20	0,80	1,40	137	20,50	116,50
CS 04	5,40	2,40	3,0	51,25	10,50	40,75

Figura 33 - Concentrações de material em suspensão total (M.S.T), orgânico (M.S.O) e inorgânico (M.S.I) obtidas nas estações de coleta na superfície (02/março) e a 70% da profundidade local (04/março) em amostras de água das câmaras de sedimentação.

Tabela 34 - Concentrações de material em suspensão total (M.S.T), orgânico (M.S.O.) e inorgânico (M.S.I.) em (mg.L^{-1}) obtidas nas estações de coleta no período experimental de 28 a 30/junho/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.

Estação de coleta	INÍCIO			TÉRMINO		
	M.S.T	M.S.O.	M.S.I.	M.S.T.	M.S.O.	M.S.I.
	(mg.L ⁻¹)			(mg.L ⁻¹)		
CS 01	0,94	0,94	0	29,1	4,98	24,12
CS 02	1,19	0,85	0,34	172,87	25,77	147,1
CS 04	1,14	1,07	0,07	20,67	4,19	16,48

Figura 34 - Concentrações de material em suspensão total (M.S.T), orgânico (M.S.O) e inorgânico (M.S.I) obtidas nas estações de coleta na superfície (28/junho) e a 70% da profundidade local (30/junho) em amostras de água das câmaras de sedimentação.

Tabela 35 - Concentrações de material em suspensão total (M.S.T), orgânico (M.S.O) e inorgânico (M.S.I) em (mg.L^{-1}) obtidas nas estações de coleta no período experimental de 29 a 31/agosto/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.

Estação de coleta	INÍCIO			TÉRMINO		
	M.S.T	M.S.O.	M.S.I.	M.S.T.	M.S.O.	M.S.I.
	(mg.L ⁻¹)			(mg.L ⁻¹)		
CS 01	1,28	0,84	0,44	172,43	25,8	146,63
CS 02	1,01	0,53	0,48	225,6	33,93	191,67
CS 04	1,31	1,13	0,18	15,58	3,64	11,94

Figura 35 - Concentrações de material em suspensão total (M.S.T.), orgânico(M.S.O) e inorgânico (M.S.I) obtidas nas estações de coleta na superfície (29/agosto) e a 70% da profundidade local (31/agosto) em amostras de água das câmaras de sedimentação.

Tabela 36 - Concentrações de material em suspensão total (M.S.T.), orgânico (M.S.O.) e inorgânico (M.S.I.) em (mg.L^{-1}) obtidas nas estações de coleta no período experimental de 17 a 19/novembro/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.

Estação de coleta	INÍCIO			TÉRMINO		
	M.S.T	M.S.O.	M.S.I.	M.S.T.	M.S.O.	M.S.I.
	(mg.L ⁻¹)			(mg.L ⁻¹)		
CS 01	3	1,3	1,7	54,6	7,94	46,66
CS 02	2,68	0,78	1,9	419,27	62,4	356,87
CS 04	1,12	0,68	0,44	35,82	12,14	23,68

Figura 36 - Concentrações de material em suspensão total (M.S.T), orgânico(M.S.O) e inorgânico (M.S.I) obtidas nas estações de coleta na superfície (17/novembro) e a 70% da profundidade local (19/novembro) em amostras de água das câmaras de sedimentação.

3.5.3.2 Taxas de sedimentação total, orgânica e inorgânica nas câmaras de sedimentação

As médias das taxas de sedimentação total, orgânica e inorgânica ($\text{mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$) à 70% da profundidade do fundo nas estações de coleta (CS 01, CS 02 e CS 04) estão apresentadas nas Figuras 37 a 40.

A estação CS 02 apresentou os maiores valores de taxa de sedimentação total, orgânica e inorgânica, obtidas nas câmaras de sedimentação a 70% de profundidade local. Nessa estação observou-se que a fração inorgânica foi sempre maior que a orgânica durante as campanhas de campo, tanto no período chuvoso como no seco, sendo que as maiores taxas de inorgânico ($4,97 \text{ mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$) e orgânico ($0,86 \text{ mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$) foram registradas no quarto experimento.

A estação CS 01, no terceiro experimento (período seco, mês de agosto), apresentou as maiores taxas de sedimentação total, orgânica e inorgânica, respectivamente: $2,40 \text{ mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$, $0,35 \text{ mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$ e $2,05 \text{ mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$. Nessa campanha registrou-se as menores taxas de sedimentação total ($0,20 \text{ mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$),

orgânica ($0,035 \text{ mg/cm}^2.\text{dia}$) e inorgânica ($0,165 \text{ mg/cm}^2.\text{dia}$) para o ponto de coleta próximo à barragem (estação CS 04).

Segundo MARICATO (1994), as maiores taxas de sedimentação ($9,0 \text{ mg/cm}^2.\text{dia}$) foram obtidas nas câmaras de sedimentação a 70% de profundidade em todos os períodos do ano, no braço do Paranapanema. Em seus estudos no ponto próximo à barragem as taxas de sedimentação total no segundo experimento foi de $0,239 \text{ mg/cm}^2.\text{dia}$ (jan/fev/1991) e de $1,634 \text{ mg/cm}^2.\text{dia}$ (jul/1991) no quarto experimento.

PIÃO (1995), determinando a taxa de sedimentação no ribeirão dos Carrapatos (Itaí-SP), concluiu que houve um maior valor de taxas de sedimentação nos meses de dezembro/1992 e janeiro/1993 e um menor valor em julho, agosto e setembro/1992 e maio/1993. Na estação de coleta à montante da cidade, no ribeirão dos Carrapatos, obteve valores muito superiores (em dez/1992 de $270,0 \text{ mg/cm}^2.\text{dia}$) quando comparado com aos encontrados na estação CS 01 no reservatório de Volta Grande em todo o período experimental.

HENRY & MARICATO (1996) concluíram que as variações espaciais e temporais nas taxas de sedimentação de material particulado são influenciadas pela entrada de material alóctone nas estações próximas à desembocadura dos tributários.

Figura 37 - Taxas de sedimentação do material em suspensão e suas frações orgânicas e inorgânicas, em $\text{mg/cm}^2.\text{dia}$, nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 02 a 04/março/1999.

Figura 38 - Taxas de sedimentação do material em suspensão e suas frações orgânicas e inorgânicas, em $\text{mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$, nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 28 a 30/junho/1999.

Figura 39 - Taxas de sedimentação do material em suspensão e suas frações orgânicas e inorgânicas, em $\text{mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$, nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 29 a 31/agosto/1999.

Figura 40 - Taxas de sedimentação do material em suspensão e suas frações orgânicas e inorgânicas, em mg/cm².dia, nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 17 a 19/novembro/1999.

3.5.4 Concentrações e taxa de sedimentação de fósforo e nitrogênio total no reservatório

3.5.4.1 Concentrações de fósforo e nitrogênio total nas câmaras de sedimentação

As concentrações de nutrientes na coluna de água refletem, de modo geral, além dos processos físicos, o balanço entre as variações temporais das taxas de absorção e de mineralização. Assim, os conhecimentos dos padrões de variação temporal das concentrações ambientais de nutrientes constituem uma ferramenta importante para a compreensão da dinâmica ecológica de um sistema aquático e, mais especificamente, de suas interações bióticas CALIJURI (1999).

Segundo CALIJURI (1999), o termo eutrofização tem sido definido para explicar o enriquecimento das águas e, em geral, está associado com a excessiva produção de matéria orgânica em sistemas aquáticos devido a entrada de nutrientes. Portanto, quando existe eutrofização, pode-se dizer que houve um aumento na

condição trófica do sistema. De acordo com a autora, as fontes dominantes desses nutrientes (N e P) são os esgotos, aumento do uso de fertilizantes na agricultura e processos erosivos na bacia de drenagem. Sendo assim, o aumento da atividade antrópica na bacia de drenagem acelera a eutrofização, e segundo ESTEVES (1988), o fósforo presente em corpos de água encontra-se sob a forma de fosfato, sendo o principal nutriente.

No solo, a ocorrência de fósforo está sob a forma orgânica e inorgânica, e nenhuma delas é considerada muito solúvel. As formas inorgânicas de fósforo são, principalmente, fosfatos de ferro, alumínio e cálcio, todas pouco solúveis. Na água percolada, a concentração de fósforo solúvel é baixa, pois os íons fosfatados são facilmente adsorvidos pelas partículas do solo. Assim a maior parte do fósforo solúvel atinge o ambiente aquático via escoamento superficial CALIJURI (1999).

As Tabelas de 37 a 40 e Figuras de 41 a 44 apresentam os resultados das concentrações de fósforo e nitrogênio totais para o período experimental.

A maior concentração de fósforo total inicial foi em março (Tabela 37 e Figura 41). na estação CS 02 ($152,40 \mu\text{g.L}^{-1}$), também nessa estação encontrou-se o menor valor inicial que foi de $16,28 \mu\text{g.L}^{-1}$ no experimento de agosto (Tabela 39 e Figura 43).

Pode-se considerar que as maiores concentrações de fósforo total inicial foram observadas no período chuvoso (CS 01 – $61,49 \mu\text{g.L}^{-1}$; CS 02 – $152,40 \mu\text{g.L}^{-1}$ e CS 04 – $128,40 \mu\text{g.L}^{-1}$). No período seco, na coleta do mês de agosto ocorreram as menores concentrações iniciais: CS 01 – $22,69 \mu\text{g.L}^{-1}$; CS 02 – $16,28 \mu\text{g.L}^{-1}$ e CS 04 – $26,96 \mu\text{g.L}^{-1}$.

A maior concentração de fósforo total obtida nas câmaras de sedimentação foi em 31/agosto/1999 ($327,07 \mu\text{g.L}^{-1}$, no período seco) na estação CS 02, e a menor foi de $37,61 \mu\text{g.L}^{-1}$ na estação CS 01 no experimento de 30/junho/1999 (Tabela 38 e Figura 42).

No reservatório de Salto Grande (Americana, SP), CALIJURI *et al.*, (1999) registraram uma concentração média de fósforo total de $244,42 \mu\text{g.L}^{-1}$ no verão/1996 e de $57,80 \mu\text{g.L}^{-1}$ no inverno/1995, para o reservatório de Barra Bonita encontraram $87,33 \mu\text{g.L}^{-1}$ no verão/94 e $42,55 \mu\text{g.L}^{-1}$ no inverno. FALÓTICO (1993), determinou

no reservatório de Samuel (RO), no período de fevereiro a março/89, concentração máxima de fósforo total igual a $142,07 \mu\text{g.L}^{-1}$.

MARICATO (1994), encontrou concentrações de fósforo total que variaram de $19,84 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período chuvoso e na estiagem foi de $23,76 \mu\text{g.L}^{-1}$ no braço do rio Paranapanema (SP).

No estudo realizado por BARBOSA *et al.* (1998), no reservatório da Pampulha (MG), obtiveram uma maior concentração de fósforo total de $92,70 \mu\text{g.L}^{-1}$, no período chuvoso e de $30,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período seco.

No reservatório de Salto Grande (SP), LEITE (1998) verificou que os valores mais altos de concentração inicial de fósforo total foram de $354,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $344,0 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente, nos meses de fevereiro e maio de 1997, decaindo bruscamente e chegando a valores abaixo de $100,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ em abril e junho/1997.

Segundo ESTEVES (1988), as principais fontes naturais de nitrogênio podem ser: a chuva, material orgânico e inorgânico de origem alóctone e a fixação de nitrogênio molecular dentro do próprio lago.

Em relação à concentração de nitrogênio total inicial, Tabelas 37 a 40, a maior concentração de nitrogênio total inicial foi em março na estação CS 04 ($2,65 \text{ mg.L}^{-1}$) e a menor foi observada em 17/novembro/1999 com $0,18 \text{ mg.L}^{-1}$.

Os valores encontrados de nitrogênio total inicial foram superiores no período seco (junho e agosto/1999, Figuras 42 e 43), se comparadas ao chuvoso (novembro/1999, Figura 44), em todas as estações de coleta.

A maior concentração de nitrogênio total obtida nas câmaras de sedimentação foi em 04/março/1999 na estação de coleta CS 04 ($2,88 \text{ mg.L}^{-1}$). Nas estações CS 01 e CS 04 foram encontradas as menores concentrações, em 19/novembro/1999, iguais respectivamente em $0,37 \text{ mg.L}^{-1}$. Após o período de incubação das câmaras, as concentrações obtidas no período seco (junho e agosto) foram superiores quando comparadas ao chuvoso (novembro), Tabelas 38 a 40.

LEITE (1998), determinou concentrações de nitrogênio total que variaram de $17,74 \text{ mg.L}^{-1}$, em agosto/1996, a $1,35 \text{ mg.L}^{-1}$ em fevereiro/1997. BARBOSA *et al.* (1998), no reservatório da Pampulha (MG) encontraram concentrações que variaram de $6,0 \text{ mg.L}^{-1}$ a $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$, no período seco e chuvoso, respectivamente.

Tabela 37 – Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta no período experimental de 02 a 04/março/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.

Estação de coleta	INÍCIO			TÉRMINO		
	Profundidade	N total	P total	Profundidade	N total	P total
	(m)	(mg.L ⁻¹)	(µg.L ⁻¹)	(m)	(mg.L ⁻¹)	(µg.L ⁻¹)
CS 01	0,0	2,59	61,49	2,80	2,59	170,29
CS 02	0,0	2,34	152,4	6,30	2,73	175,13
CS 04	0,0	2,65	128,4	15,40	2,88	272,35

Figura 41 - Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta na superfície (02/março) e em amostras de água das câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local (04/março).

Tabela 38 - Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta no período experimental de 28 a 30/junho/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.

Estação de coleta	INÍCIO			TÉRMINO		
	Profundidade	N total	P total	Profundidade	N total	P total
	(m)	(mg.L ⁻¹)	(µg.L ⁻¹)	(m)	(mg.L ⁻¹)	(µg.L ⁻¹)
CS 01	0,0	0,42	33,25	2,80	0,79	37,61
CS 02	0,0	0,42	35,27	6,30	0,98	232,01
CS 04	0,0	0,37	42,48	15,40	0,84	62,98

Figura 42 - Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta na superfície (28/junho) e em amostras de água das câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local (30/junho).

Tabela 39 - Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta no período experimental de 29 a 31/agosto/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.

Estação de coleta	INÍCIO			TÉRMINO		
	Profundidade	N total	P total	Profundidade	N total	P total
	(m)	(mg.L ⁻¹)	(µg.L ⁻¹)	(m)	(mg.L ⁻¹)	(µg.L ⁻¹)
CS 01	0,0	0,37	22,69	2,80	1,12	175,16
CS 02	0,0	0,37	16,28	6,30	2,19	327,07
CS 04	0,0	0,37	26,96	15,40	0,93	50,94

Figura 43 - Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta na superfície (29/agosto) e em amostras de água das câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local (31/agosto).

Tabela 40 - Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta no período experimental de 17 a 19 /novembro/1999, na superfície (início) e a 70% da profundidade local (término) em amostras de água das câmaras de sedimentação.

Estação de coleta	INÍCIO			TÉRMINO		
	Profundidade	N total	P total	Profundidade	N total	P total
	(m)	(mg.L ⁻¹)	(µg.L ⁻¹)	(m)	(mg.L ⁻¹)	(µg.L ⁻¹)
CS 01	0,0	0,23	42,27	2,80	0,37	50,05
CS 02	0,0	0,23	21,86	6,30	0,42	192,52
CS 04	0,0	0,18	28,33	15,40	0,37	46,31

Figura 44 - Concentrações de fósforo e nitrogênio total obtidas nas estações de coleta na superfície (17/novembro) e em amostras de água das câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local (19/novembro).

3.5.4.2 Taxas de sedimentação de fósforo e nitrogênio total nas câmaras de sedimentação

De acordo com BOSTRÖM (1998), os principais mecanismos de deposição de fósforo são: sedimentação de material alóctone orgânico e inorgânico; matéria orgânica alóctone; incorporação por mecanismos e fixação a compostos orgânicos.

Os valores mínimo e máximo de deposição de fósforo total nas câmaras de sedimentação ocorreram em 30/junho/1999 (CS 01) e em 31/agosto/1999 (CS 02) com valores de $0,061 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{dia}$ (Figura 46) e $4,35 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{dia}$ (Figura 47).

Na estação de coleta CS 02 encontrou-se os maiores valores de deposição de fósforo total, exceto na coleta de março /1999, onde os valores encontrados para os meses de março, junho, agosto e novembro de 1999 (Figuras 45 a 48) foram de: $0,32 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{dia}$, $2,75 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{dia}$, $4,35 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{dia}$ e $2,39 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{dia}$, respectivamente.

LEITE (1998) verificou que no reservatório de Salto Grande (SP) os valores máximo de sedimentação de fósforo total ocorrem em outubro e dezembro/1996 com $46,25 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{dia}$ e $36,28 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{dia}$, respectivamente, nas câmaras de sedimentação. Enquanto MARQUISÁ (1998), no reservatório de Barra Bonita (SP) obteve valor máximo de $79,70 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ (março/1996) e no reservatório do Lobo (Broa) o valor de $36,60 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ (setembro/1996).

A maior taxa de deposição de nitrogênio total coletada nas câmaras de sedimentação (a 70% da profundidade local) foi de $0,025 \text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{dia}$ na estação CS 02, no período experimental de agosto/1999 (Figura 47), sendo que o menor valor encontrado foi na estação CS 01 (19/novembro/99) com $0,002 \text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{dia}$ (figura 48). Verifica-se um padrão mais homogêneo de deposição de nitrogênio total em todas as estações na quarta campanha de campo (novembro/1999).

LEITE (1998) concluiu que há um padrão mais homogêneo de deposição de nitrogênio no reservatório de Salto Grande (SP), com valores máximos próximos a $0,50 \text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{dia}$, no período seco, alcançando a metade dos valores no período chuvoso.

MARQUISÁ (1998), estudando a sedimentação de nitrogênio total em estações de coleta próximas à barragem em dois reservatórios de diferentes estados tróficos, obteve para a represa do Lobo (Broa) valor máximo de $645,00 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$

em junho/1995, e o mínimo de 126,00 mg/m².dia em outubro/1999; no reservatório de Barra Bonita (SP) registrou um máximo de 1704,00 mg/m².dia em outubro/1995 e um valor mínimo em junho/1995 de 110,00 mg/m².dia.

Figura 45 - Taxas de sedimentação de fósforo (ug/cm².dia) e nitrogênio total (mg/cm².dia), nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 02 a 04/março/1999.

Figura 46 - Taxas de sedimentação de fósforo (ug/cm².dia) e nitrogênio total (mg/cm².dia), nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 28 a 30/junho/1999.

Figura 47 - Taxas de sedimentação de fósforo($\mu\text{g}/\text{cm}^2.\text{dia}$) e nitrogênio total ($\text{mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$), nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 29 a 31/agosto/1999.

Figura 48 - Taxas de sedimentação de fósforo($\mu\text{g}/\text{cm}^2.\text{dia}$) e nitrogênio total ($\text{mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$), nas câmaras de sedimentação a 70% da profundidade local das estações de coleta, no experimento de 17 a 19/novembro/1999.

3.5.5 Caracterização dos sedimentos de fundo no reservatório

Os sedimentos coletados em agosto/1999 foram submetidos a análise química para determinar o teor dos nutrientes: fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio; pH, matéria orgânica e granulometria, apresentados nas Tabelas 41 a 44. O preparo das amostras de sedimentos foi idêntico ao adotado para as amostras de solo (de acordo com os padrões do Programa Nacional de Fertilidade de Solo).

Utilizou-se um método de classificação simplificada para definição da textura do sedimento, de acordo com as seguintes classes: *arenosa* (máximo 15% de argila); *média* (<35% de argila e >15% de areia); *siltosa* (>50% de silte, areia<15% e argila<35%) e *argilosa* (35%< argila<60%), segundo citação feita em VIEIRA *et al.* (1988).

As estações de coleta CS 01, CS 02 e CS 04 (câmaras de sedimentação) correspondem à localização dos pontos de amostragem N.03, N.11 e N.15 na coleta de sedimentos da margem paulista. Os teores de fósforo obtidos para esses pontos são 90,0 mg.L⁻¹, 120,0 mg.L⁻¹ e 100mg.L⁻¹, respectivamente. Especificamente para a amostra de N.03 (CS 01), o seu índice de fertilidade pode ser caracterizado por: P (baixo), K (médio), Ca e Mg (altos), Al (baixo), matéria orgânica (alto); pH 5,8(acidez média); relação de 14% areia, 57% silte e 29% argila, predominando classe textural siltosa.

O fertigrama da amostra de N. 11 (CS 02) determina os seguintes índices: P (alto), K (médio), Ca e Mg (altos), Al (baixo), matéria orgânica (alto); pH 5,6(acidez média); relação de 16% areia, 35% silte e 49% argila, predominando classe textural argilosa.

A amostra de N.15 (próxima da barragem – CS 04) registrou o seguinte índice de fertilidade: P (médio), K (médio), Ca (médio), Mg (alto), Al (baixo), matéria orgânica (médio); pH 5,6(acidez média); relação de 27% areia, 28% silte e 45% argila, predominando classe textural argilosa.

De modo geral, as amostras de sedimento das zonas de transição (amostras de N.03 a 11) e lacustre (N.12 a 17), apresentam índices de fertilidade médio a alto, classe textural média a argilosa e acidez média. Estes valores de fertigrama elevados podem estar associados à aplicação de adubo no solo por ocasião da implantação de

culturas irrigadas (área da margem paulista, estação CS 02 (amostra N.11), e ao fato de o solo estar preparado para o plantio e, conseqüentemente, mais vulnerável à erosão. A área de influência do reservatório, principalmente próxima às suas margens, continuam sendo exploradas de modo intensivo. Portanto, o uso de sistemas convencionais de manejo de solo existente na região pode elevar as perdas de nutrientes e de matéria orgânica por erosão hídrica, os riscos ambientais e os custos financeiros.

Tabela 41 – Teores totais de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, matéria orgânica e pH do sedimento de fundo do reservatório, na margem paulista, em 30/agosto/1999.

Número da amostra	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Alumínio	Matéria orgânica	pH
N.	(mg.dm ⁻³)	(mg.dm ⁻³)	(cmol _c .dm ⁻³)	(cmol/dm ³)	(cmol/dm ³)	(%)	
01	5,0	10,0	0,7	0,2	0,1	0,3	6,6
02	15,0	59,0	3,0	1,2	0,1	1,2	6,7
03	9,0	77,0	7,3	2,9	0,1	6,6	5,8
04	14,0	55,0	4,8	1,5	0,3	4,8	5,5
05	16,0	50,0	5,5	1,5	0,1	3,6	5,9
06	13,0	71,0	4,9	2,5	0,3	3,6	5,4
07	4,0	52,0	2,5	0,8	0,1	1,6	5,9
08	18,0	58,0	2,1	0,7	0,8	2,8	5,1
09	13,0	41,0	2,3	0,8	0,4	3,3	5,3
10	7,0	82,0	5,9	2,1	0,1	2,4	5,9
11	12,0	68,0	5,4	1,6	0,1	3,1	5,6
12	1,0	12,0	0,8	0,2	0,1	1,7	5,0
13	6,0	68,0	5,0	1,5	0,1	3,1	5,5
14	8,0	49,0	4,4	1,1	0,2	3,8	5,4
15	10,0	62,0	4,0	1,7	0,1	1,7	5,6
16	2,0	25,0	2,0	1,2	0,1	2,8	5,9
17	12,0	54,0	5,1	1,3	0,1	3,4	5,5

Tabela 42 - Teores totais de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, matéria orgânica e pH do sedimento de fundo do reservatório, na margem mineira, em 30/agosto/1999.

Número da amostra	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Alumínio	Matéria orgânica	pH
	(mg.dm ⁻³)	(mg.dm ⁻³)	(cmol/dm ³)	(cmol/dm ³)	(cmol _e .dm ⁻³)	(%)	
01	5,0	10,0	0,7	0,2	0,1	0,3	6,6
02	15,0	59,0	3,0	1,2	0,1	1,2	6,7
03	11,0	33,0	2,0	0,6	1,2	4,8	5,1
04	27,0	49,0	4,3	1,8	0,1	2,2	5,9
05	15,0	52,0	3,5	2,2	0,1	4,1	5,7
06	13,0	47,0	4,0	1,5	0,1	4,1	5,5
07	16,0	72,0	6,5	2,0	0,3	10,3	5,4
08	10,0	67,0	3,7	1,0	0,1	3,6	5,5
09	9,0	120,0	6,6	2,7	0,3	6,2	5,4
10	4,0	43,0	3,3	1,3	0,1	4,1	5,5
11	9,0	39,0	3,3	1,2	0,1	3,1	5,5
12	1,0	15,0	1,6	0,4	0,1	2,1	5,6
13	2,0	25,0	1,2	0,7	0,3	1,2	5,3
14	21,0	45,0	3,5	1,7	0,4	4,5	5,3
15	2,0	33,0	2,6	1,2	0,1	2,2	6,2
16	2,0	25,0	2,0	1,2	0,1	2,8	5,9
17	8,0	70,0	5,2	2,0	0,4	5,7	5,3

Tabela 43 – Resultados das análises granulométricas do sedimento de fundo do reservatório, na margem paulista, em 30/agosto/1999.

Número de amostras	Fração Granulométrica (%)			Classe textural
	Areia	Silte	Argila	
01	98,0	0,0	2,0	Arenosa
02	67,0	17,0	16,0	Média
03	14,0	57,0	29,0	Siltosa
04	16,0	52,0	32,0	Média
05	31,0	40,0	29,0	Média
06	19,0	40,0	41,0	Argilosa
07	17,0	51,0	32,0	Média
08	34,0	26,0	40,0	Argilosa
09	59,0	18,0	23,0	Média
10	17,0	35,0	48,0	Argilosa
11	16,0	35,0	49,0	Argilosa
12	26,0	31,0	43,0	Argilosa
13	18,0	38,0	44,0	Argilosa
14	29,0	37,0	34,0	Média
15	27,0	28,0	45,0	Argilosa
16	39,0	27,0	34,0	Média
17	32,0	32,0	36,0	Argilosa

Tabela 44 - Resultados das análises granulométricas do sedimento de fundo do reservatório, na margem mineira, em 30/agosto/1999.

Número de amostras	Fração Granulométrica (%)			Classe textural
	Areia	Silte	Argila	
01	98,0	0,0	2,0	Arenosa
02	67,0	17,0	16,0	Média
03	20,0	51,0	29,0	Média
04	55,0	22,0	23,0	Média
05	22,0	46,0	32,0	Média
06	26,0	44,0	30,0	Média
07	35,0	41,0	24,0	Média
08	24,0	36,0	40,0	Argilosa
09	23,0	37,0	40,0	Argilosa
10	13,0	38,0	49,0	Argilosa
11	24,0	31,0	45,0	Argilosa
12	30,0	26,0	44,0	Argilosa
13	46,0	19,0	35,0	Argilosa
14	31,0	36,0	33,0	Média
15	28,0	29,0	43,0	Argilosa
16	39,0	27,0	34,0	Média
17	18,0	45,0	37,0	Argilosa

CAPÍTULO 4

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

4.1 INTRODUÇÃO

O homem aperfeiçou-se em tecnologias e conhecimentos fortemente condicionados às características do meio ambiente, para dele explorar e extrair seus recursos. Nesse processo, a estrutura ambiental é tratada não somente do ponto de vista de suas origens e funções, mas de suas localizações, formas, limites e distribuições.

O termo espacial refere-se a qualquer tipo de informação sobre localização e pode incluir informações de engenharia, geografia, cartografia, fotogrametria, sensoriamento remoto, ciência da computação, ciências sociais e naturais.

O tratamento dessas informações espaciais é um requisito necessário para monitoramento, planejamento e tomadas de decisão quanto ao uso e ocupação das unidades físicas do meio ambiente.

Para acompanhar os rumos tomados pelas políticas desenvolvimentistas, sob a bandeira do desenvolvimento sustentável, mas ainda com conseqüências funestas para o meio ambiente devido à exploração irracional dos recursos naturais, é preciso dispor de técnicas que auxiliam as tomadas de decisão para o planejamento ambiental.

O planejamento ambiental é visto como uma formalização de um sistema básico de planejamento, em que os elementos componentes pertencem ao meio natural e antrópico ocorrentes em um determinado território, que abrangem uma grande quantidade de informações e depende de vários fatores de decisão.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) são técnicas eficientes que podem ser definidos como sistemas destinados ao tratamento automatizado de dados

georreferenciados, capazes de integrar as informações espaciais temáticas e gerar novos dados. A definição de SIG dada por COWEN (1988): “um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente em um ambiente de respostas a problemas”.

Os SIGs são programas destinados à aquisição, gestão, análise e apresentação de informação georreferenciada. Utilizando a informação organizada em diferentes níveis temáticos, tais como: declividade do terreno, ocupação do solo, hidrografia, etc., é possível fazer várias operações de análise lógica, estatística e matemática apresentando os resultados em uma carta ou tabela. Esse tipo de ferramenta revolucionou o monitoramento e a gestão dos recursos naturais e uso do solo, não sendo portanto surpreendente o interesse crescente no desenvolvimento de abordagens de suporte à decisão baseadas em SIGs (EASTMAN *et al.*, 1998).

4.2 APLICAÇÕES DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

O termo SIG refere-se àqueles sistemas que efetuam tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e em uma projeção cartográfica qualquer. Os dados tratados em geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras de formatos apresentados (CÂMARA, 1998).

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser definido como uma coleção organizada de hardware, software, dados geográficos e pessoal, projetados para permitir a captura, armazenamento, atualização, manipulação, análise e apresentação de todas as formas de informações referenciadas geograficamente (CALIJURI & ROHM, 1994).

REIS (1995) comenta que um SIG combina a tecnologia da cartografia automatizada, dos sistemas de gerenciamento de banco de dados e do sensoriamento remoto com as metodologias de análise geográfica, fornecendo procedimentos que auxiliam a manipulação e atualização das informações disponíveis.

Nos estudos de ASSAD *et al.* (1998) é observado que, no Brasil, os cursos de água vêm sofrendo constante e crescente contaminação, resultado da utilização e preservação inadequada dos recursos naturais, sendo que para a modificação desse cenário é preciso que seja implantado um programa racional de utilização e manejo dos recursos naturais, principalmente do solo e da água. Esses autores comprovaram a potencialidade de aplicação de SIGs na integração de dados geocodificados, sendo que, em pequenas, áreas as principais vantagens são a elevada precisão do produto final e a economia de tempo em relação aos métodos tradicionais de análise.

Este tipo de ferramenta revolucionou o monitoramento e a gestão dos recursos naturais e uso do solo, devido a sua capacidade de análise de grande quantidade de informação de diferentes origens simultaneamente.

RANIERI (1998) avaliaram o risco de degradação para diferentes usos da terra e concluíram que a principal causa deste impacto na microbacia dos Marins (Piracicaba-SP) foi a sua superutilização. O emprego do SIG revelou-se uma ferramenta útil para trabalhos desta natureza, posto que permitiu a manipulação de mapas temáticos, a alteração de cenários, o cruzamento de informações e a obtenção de mapas finais de risco com a rapidez necessária.

SILVA (1993) integraram dados de solos com dados de sensoriamento remoto, através de um sistema de análise georreferenciada, detectando entre os anos de 1958 a 1985 mudanças de uso da terra em 6.594 hectares de um total de 13.080 hectares de solos sob floresta em Ubajara (CE). A distribuição espacial do desmatamento indicou que 13% da área desmatada situava-se em um Latossolo Vermelho-Amarelo de alto risco e inapto para culturas, em face de suas características de alta erodibilidade e de baixa produtividade. O sistema de análise georreferenciada foi útil na visualização de variações espaciais e temporais de uso da terra e aperfeiçoou o armazenamento e transferência de dados para decisões que conduziram à conservação do solo e água pela preservação das florestas em solos inaptos às culturas.

REIS (1995) propôs uma metodologia para estudo e mensuração de assoreamento do reservatório de Capivara (SP), onde utilizou um SIG para aplicação da Equação Universal de Perda de Solo. Analisou a evolução do processo erosivo, buscando a obtenção de relações entre erosão, pedologia e uso da terra para facilitar

o entendimento do processo de assoreamento. Os mapas referentes às feições erosivas lineares de 1962, 1972 e 1984 foram analisados por meio do software IDRISI. Os resultados forneceram dados sobre volume de assoreamento muito próximos ao obtido utilizando o método de prospecção direta. A vantagem desta metodologia foi a identificação de áreas fontes de sedimentos e a possibilidade de simulação de alterações no uso do solo.

SOUZA (1995) utilizou os recursos do SIG IDRISI, no desenvolvimento e aplicação de uma metodologia para quantificar o assoreamento no reservatório do Sistema Manso, região Metropolitana de Belo Horizonte – MG, com objetivo de acompanhar a sua evolução e identificar regiões potenciais aos fenômenos de erosão e assoreamento, subsidiando eventuais medidas para o aperfeiçoamento das ações de controle.

Em função do intenso dinamismo das propriedades da água num dado sistema aquático, as atividades para seu monitoramento se baseiam na aquisição e análise de grandes volumes de dados. Programas rotineiros de monitoramento de qualidade de água envolvem a medição de 10 a 15 variáveis da água, tais como: - a concentração de diversos nutrientes, espécies fitoplanctônicas, penetração de radiação solar, etc. A análise simultânea de tal volume de dados torna-se altamente complexa quando se amplia o número de locais de amostragem e a frequência de amostras ao longo da coluna de água. Este quadro é um claro indicador de que o conhecimento sobre o funcionamento dos ecossistemas aquáticos pode se beneficiar amplamente se os dados dispersos em diferentes formatos e fontes forem organizados em Sistemas de Informação Geográfica (NOVO & LEITE, 1994).

Para exemplificar, NOVO & LEITE, (1994) aplicaram o SIG para o reservatório de Barra Bonita na modelagem do estado trófico, onde foram selecionados dados limnológicos de período típico de inverno (agosto de 1990), e ressaltaram uma questão importante: - que regiões enquadram-se nas diferentes categorias tróficas?; - que variáveis limnológicas apresentam-se como indicadoras do nível trófico?; - que regiões do reservatório encontram-se simultaneamente classificadas como tróficas quando mais de uma variável é utilizada no processo de classificação?. Para este estudo utilizou as concentrações de fósforo total, nitrogênio

total e clorofila total para mapeamento e classificação das águas do reservatório de Barra Bonita em oligotróficas, mesotróficas e eutrólicas.

ALVES *et al.* (1998) estabeleceram um estudo baseado nos parâmetros físico-químicos da água da Lagoa Rodrigo de Freitas (RJ). Especificamente elaboraram cartas temáticas representativas da distribuição das variáveis físico-químicas. O uso do SIG possibilitou a formulação de modelos diagnósticos das áreas impactantes da lagoa, estabelecendo roteiros básicos para suporte ao processo de monitoramento. A geração dos planos de informação foram feitos com auxílio do SIG/INPE, enquanto que, o processo de entrecruzamento e as saídas gráficas foram processadas no SIG IDRISI.

HASENACK *et al.* (1998), desenvolveram uma carta de vulnerabilidade à ocupação urbana de uma área proposta para um parque do município de Porto Alegre (RS). A integração dos dados foi feita com o uso dos módulos de apoio à decisão disponíveis no software IDRISI, onde foram usados como variáveis a declividade do terreno, a distância das áreas construídas, a distância de ruas e caminhos e a cobertura vegetal. Com o auxílio das rotinas de apoio à decisão foi verificado de modo mais objetivo que as áreas do futuro parque são mais vulneráveis à ocupação urbana.

RAMOS (2000) apresentou um modelo espacial de localização industrial para o município de Valença (Portugal). A localização industrial foi tratada por meio de um processo de decisão, através do qual comparou diferentes alternativas espaciais para identificação de áreas que apresentam maior aptidão para o uso industrial. A aplicação do modelo foi feita com o emprego do SIG IDRISI, onde os cenários foram combinados utilizando o módulo de suporte à decisão por meio do operador de agregação Média Ponderada Ordenada (OWA).

4.3. AVALIAÇÃO MULTI-CRITÉRIO

Uma extensa bibliografia existe sobre o tema “Tomada de Decisão” nas áreas de Gestão, Investigação Operacional e Planejamento do Uso do Solo, conduzindo a uma grande heterogeneidade e divergência no uso dessa temática.

A definição básica de Decisão é: - a escolha entre alternativas. As alternativas podem representar diferentes classificações, planos, localizações e hipóteses sobre um determinado fenómeno. Por exemplo a escolha entre classes de aptidão (baixa, média e alta) para um determinado tipo de solo, em relação a um ou mais uso específico, torna-se um ato de Decisão

A definição dada para Critério é que esse representa uma condição que pode ser quantificada ou avaliada, e que contribui para a tomada de decisão. Os critérios podem ser de dois tipos: Fatores e Restrições.

Define-se Fator como um critério que acentua ou diminui a aptidão de uma determinada característica para atingir um objetivo específico. Normalmente esta aptidão é medida em um escala contínua e de forma a abranger todo espaço de solução inicialmente previsto. Um exemplo clássico de Fator é a consideração de que quanto maior for a distância de uma rodovia existente, menor será a aptidão do solo para a localização de indústria.

Restrição é um critério que estabelece limitações das alternativas consideradas em um determinado estudo. Um bom exemplo de uma Restrição é a consideração de “não aptas” as áreas ambientalmente protegidas, quando se estuda a aptidão dos solos para a expansão urbana.

Na maioria dos casos uma Restrição traduz-se na criação de limitações ao espaço de análise, definindo as alternativas não elegíveis que deverão ser excluídas do espaço inicial de soluções possíveis. No entanto, às vezes, as Restrições podem apenas pretender garantir que a solução final possua algumas características pré-estabelecidas.

A área estudada está inserida em uma região que vem sofrendo uma intensa atividade antrópica, onde os recursos hídricos estão ameaçados pela atividade industrial, por agrotóxicos e apresenta forte risco de erosão. Portanto, neste trabalho não foi utilizada nenhuma Restrição, uma vez que todos os Fatores definidos e posteriormente combinados serviram para avaliar a vulnerabilidade à perda de solo e o potencial de assoreamento dos mananciais superficiais.

Em um problema multi-critério está implícita a avaliação de diferentes aspectos que contribuem (a favor ou contra) para uma decisão. A forma de combinar os critérios, a consideração de todos ou apenas parte deles (os melhores, os piores, os

médios, ou qualquer combinação), a forma como alguns critérios podem compensar outros, são aspectos que assumem grande importância nas decisões, particularmente em contextos de recursos escassos. Entre as atitudes mais extremas de risco na avaliação – conservadoras e arriscadas – pode haver lugar a cenários de avaliação que sejam mais compatíveis com as condições que contextualizam a decisão e a realidade.

Padronização dos Critérios

A padronização é essencialmente um processo de conversão dos valores dos dados originais em escores de adequabilidade ao propósito desejado, aplicando-se os critérios preestabelecidos através de pertinência a conjuntos, isto é, de sua associação ao conjunto de áreas vulneráveis à perda de solo e susceptíveis ao assoreamento.

Normalmente os valores de diferentes critérios não são comparáveis entre si, o que inviabiliza a sua agregação imediata. Para resolver esse problema é necessário a normalização de cada um dos fatores para uma mesma escala. (RAMOS, 2000).

A maior parte dos processos de normalização utilizam os valores máximo e mínimo para a definição de uma escala. A forma mais simples é uma variação linear definida da seguinte forma (EASTMAN, 1997):

$$X_i = [(R_i - R_{min}) / (R_{max} - R_{min})] * \text{intervalo normalizado} \quad (5)$$

em que R_i é o valor de escore a normalizar e R_{min} e R_{max} são os escores mínimo e máximo, respectivamente. Em geral, o processo de normalização é idêntico ao processo introduzido pela lógica *fuzzy*, onde um conjunto de valores expressos em uma escala de valores é convertido em um outro comparável expresso em uma escala normalizada, por exemplo de 0 - 1 ou de 0 - 255.

De acordo com RAMOS (2000) e MELO (2001), o processo de normalização é, na sua essência, idêntico ao processo introduzido pela lógica *fuzzy*, segundo a qual um conjunto de valores expressos numa dada escala é convertido em outro comparável, expresso numa escala normalizada (por exemplo, 0-1 ou 0-255). O resultado expressa um grau relativo de pertencer a um conjunto (designado por

“*fuzzy membership*” ou possibilidade) que varia de 0.0 a 1.0 ou 0 a 255, indicando um crescimento contínuo desde não-pertence até pertence total, na base do critério submetido ao processo de *fuzzyfication* (expressão original apresentada por ZADEH (1965), para a qual não se adotou qualquer tradução, sendo que o mesmo acontece para a palavra *fuzzy*). Segundo ZADEH (1965), “a teoria do conjunto *fuzzy* é, em suma, o passo seguinte de aproximação entre a precisão da matemática clássica e a imprecisão do mundo real.”

O conjunto *fuzzy* é uma generalização de conjunto ordinário. É definido a partir de um domínio contínuo, com graus de pertinências variando de 0 a 1 ou 0 a 255, após a normalização. Na teoria geral, a pertinência ou afirmativa de um dado fenômeno é relativa. Com o advento dessa teoria, obteve-se uma estrutura conceitual apropriada de tomada de decisão pois a lógica *fuzzy* auxilia a diminuir a subjetividade na escolha e a aumentar o raciocínio no processo de decisão (MELO, 2001).

Desta forma, nenhum fenômeno interveniente é absoluto como, por exemplo, a distância do local em relação às áreas urbanizadas. A sua aplicação é extremamente conveniente como complemento para ocorrências indefinidas ou relativas, principalmente porque permite caracterizar locais de maior ou menor adequação para serem utilizados como aterros sanitários de resíduos sólidos (MAHLER & LEITE, 1998) *apud* MELO (2001).

Nos sistemas de informações geográficas esta lógica pode ser implementada através de rotinas computacionais chamadas de objetos *fuzzy* (alguns sistemas já possuem módulos *FUZZY* - baseados na aplicação universal desta lógica - entre eles, o GIS Idrisi32, I32.2, apresentado neste trabalho).

Quando se trabalha com modelos *fuzzy* aplicados às ciências ambientais, as seguintes regras devem ser observadas (RIBEIRO, 1996) *apud* MELO (2001):

- Alternativas: um conjunto de atributos, produtos, ações, ou seja, itens que ajudem na elaboração de estratégias para uma determinada tarefa, por exemplo, a escolha de um local;
- Atributos: cada alternativa é composta por um conjunto de características e estas devem ser separadas em grupos para posterior avaliação;

- Objetivos: os conjuntos de atributos selecionados pelo interessado devem ser classificados de acordo com os objetivos principais;
- Preferências: a relativa importância de cada atributo dentro dos objetivos deve ser listada de acordo como o seu grau de importância e se surgem subdivisões de objetivos estes devem ser chamados de interatributos.

Para a normalização dos critérios, várias são as funções que podem ser utilizadas para reger a variação entre o ponto mínimo e o ponto máximo. Algumas das mais utilizadas, designadas por funções *fuzzy* ou, mais genericamente e na terminologia anglo-saxônica, “*fuzzy set membership functions*”, são: Sigmoidal, J, Linear e Definida pelo Usuário (CALIJURI, 2000)

As Figuras 49a, 49b, 49c e 49d mostram as diferentes possibilidades da função Sigmoidal e as posições dos pontos de controle.

Figura 49A - Função sigmoidal

Figura 49B - Função sigmoidal

Figura 49C - Função sigmoidal

Figura 49D - Função sigmoidal

Figura 49 - Função *Fuzzy Sigmoidal* (Fonte: Adaptado de MELO, 2001).

Utiliza-se, para descrevê-la, uma função cosseno. A operação requer as posições, ao longo do eixo X, de quatro pontos que indiquem a forma da curva, como indicado nas ilustrações. Os pontos a, b, c e d representam os pontos de controle da curva.

A função J também é comum. As Figuras 50a, 50b, 50c e 50d mostram as diferentes possibilidades da função J e as posições dos pontos de controle. É importante observar que a curva da função J aproxima-se de zero quando tende ao infinito.

Figura 50A- Função J simétrica

Figura 50B- Função J simétrica

Figura 50C - Função J decrescente

Figura 50D - Função J crescente

Figura 50 - Função Fuzzy J (Fonte: Adaptado de MELO, 2001).

Figura 51A - Função linear

Figura 51B - Função linear

Figura 51C - Função linear

Figura 51D - Função linear

 Figura 51 - Função *Fuzzy Linear* (Fonte: Adaptado de MELO, 2001)

A *função linear*, suas variações e seus pontos de controle podem ser observados na Figuras 51a, 51b, 51c e 51 d

Quando a relação entre os valores e a função *fuzzy* não estão relacionadas com as três acima, as funções *Definidas pelo Usuário* são mais aplicáveis. A função *fuzzy* entre dois pontos de controle é linearmente interpolada.

Avaliação de Pesos e Combinação para os Critérios

Normalmente em um processo de tomada de decisão envolvendo múltiplos critérios, uma das grandes dificuldades é a forma de como se deve quantificar e caracterizar a importância de cada um deles, uma vez que os mesmos podem possuir graus de importância variada para cada gestor. Portanto, é preciso atribuir um determinado peso para cada critério, em função de sua importância no processo de decisão. A correta atribuição de pesos é importante para que sejam mantidas as preferências dos gestores.

Segundo CALIJURI (2000), a ponderação do fator é também conhecida como valor de compensação atribuída a cada fator. A ponderação indica a importância relativa de todos os fatores e regula a compensação entre eles. O grau em que um fator pode compensar outro é determinado por seu fator ou compensação de peso.

De acordo com RAMOS (2000) não se pode afirmar que existe um método consensual para a definição de pesos; na literatura encontram-se várias propostas de procedimentos para este efeito, tais como: VOOGD (1983) *apud* RAMOS (2000) e MALCZEWSKI (1999). RAMOS (2000) apresentou quatro métodos: - método baseado no ordenamento de critérios; método baseado em escalas de pontos; método baseado na distribuição de pontos e método baseado na comparação de critérios par-a-par.

Neste trabalho, optou-se por trabalhar com o método baseado na comparação de critérios par-a-par, presente no algoritmo do SIG utilizado nas análises. O módulo WEIGHT, do Idrisi32, I32.2, utiliza esta técnica de comparação de pares para desenvolver um conjunto de pesos cuja somatória é a unidade.

Os fatores foram comparados dois a dois, em termos de sua importância relativa. Depois de todas as possíveis combinações entre dois fatores, o módulo calcula um conjunto de pesos e uma razão de consistência. A razão indica qualquer inconsistência que tenha ocorrido durante o processo de comparação.

O módulo WEIGHT permite repetidos ajustes à comparação e relaciona os novos pesos e razão de consistência para cada interação.

Segundo MALCZEWSKI (1999), não se pode afirmar sobre a existência de um método para definição de pesos, embora encontra-se na literatura várias propostas, tais como: - ordenamento de critérios, - distribuição de pontos, - comparação par a par.

Uma forma bastante mais complexa, mas também mais promissora, para a obtenção dos pesos a atribuir aos vários critérios é a metodologia de comparação par-a-par desenvolvida por Thomas Saaty (1977, 1980, 1987) no contexto de um processo de tomada de decisão denominado AHP (*Analytic Hierarchy Process*) (RAMOS, 2001).

Essa metodologia de comparação baseia-se em uma matriz quadrada $n \times n$, de comparação entre os n critérios, onde as linhas e colunas correspondem aos critérios (na mesma ordem ao longo das linhas e ao longo das colunas)

Segundo SAATY (1977) *apud* RAMOS (2000), o valor a_{ij} representa a importância do critério da linha i face ao critério da coluna j , como:

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \quad \text{e} \quad a_{ii} = 1; \quad (6)$$

onde a matriz é recíproca, significando que se o critério da linha $i = 2$ é três vezes mais importante que o critério da coluna $j = 5$, portanto, $a_{25} = 3$ e $a_{52} = 1/3$; onde somente a metade triangular inferior esquerda necessita ser avaliada, uma vez que a outra metade procede desta e os valores da diagonal principal são unitários.

SAATY (1980), propôs uma escala de comparação de critérios em nove categorias:

- 1 – igual importância de ambos os critérios;
- 3 – o primeiro critério é pouco mais importante que o segundo;
- 5 – o primeiro critério é muito mais importante que o segundo;
- 7 – o primeiro critério é bastante mais importante que o segundo;
- 9 – o primeiro critério é extremamente mais importante que o segundo;

onde 2,4,6 e 8 são valores intermediários para o qual o compromisso é sempre aceitável.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
extremamente	bastante	muito	pouco	igual	pouco	muito	bastante	extremamente
Menos importante							Mais importante	

Figura 52 - Escala de combinação de critérios (Fonte: Adaptado de SAATY (1980) *apud* RAMOS, 2000)

Em MALCZEWSKI (1999) *apud* RAMOS (2000), existem diversas classes de operadores para combinação de critérios, no entanto, no âmbito dos processos de decisão de natureza espacial, os mais relevantes são: Combinação Linear Ponderada (Weighted Linear Combination - WLC) e a Média Ponderada Ordenada (Ordered Weighted Average - OWA).

Segundo CALIJURI (2000), a técnica Média Ponderada Ordenada (OWA) é melhor utilizada com fatores padronizados a uma escala contínua de adequabilidade e ponderados de acordo com sua importância. Essa técnica, além de utilizar os pesos de critérios usados no procedimento WLC, considera outro conjunto de pesos que não estão especificamente ligados a quaisquer fatores, mas que são aplicados em uma ordem que depende do valor dos fatores após a aplicação normal do primeiro conjunto de pesos. CALIJURI (2000) considera que este procedimento permite controlar o nível total de compensação entre os fatores e o nível de risco na determinação da adequabilidade.

Depois da aplicação da ponderação aos fatores originais, os resultados são classificados: da adequabilidade mínima à máxima para cada localização. Ao fator com a adequabilidade mais baixa é dado peso de 1ª ordem; ao fator com a próxima adequabilidade mais baixa é dado o peso de 2ª ordem e assim por diante. Isso tem o efeito da ponderação dos fatores baseada na classificação do valor mínimo ao máximo para cada localização (CALIJURI, 2000).

Identificando a relação de importância entre os fatores (ambientais, operacionais e sócio-econômicos), procede-se à agregação, utilizando o módulo MCE-WLC (Multi-Criteria Evaluation - Weighted Linear Combination /

Combinação Linear Ponderada) e/ou o módulo MCE-OWA (Multi-Criteria Evaluation - Ordered Weighted Average / Média Ponderada Ordenada). O resultado desses procedimentos terá como consequência a geração de uma imagem de adequabilidade caracterizada pelos critérios apresentados e, principalmente, pela técnica de agregação utilizada.

Combinação Linear Ponderada – WLC

O procedimento WLC (VOOGD, 1983) *apud* RAMOS (2000) combina os fatores através de uma média ponderada, dada pela equação:

$$S = \sum_i W_i * X_i \quad (7)$$

em que S é o valor final do escore, W_i é o peso do fator i e X_i é o valor normalizado para o mesmo fator. Dado que o somatório dos pesos é a unidade, o valor final vem calculado na mesma escala dos valores normalizados.

Nos casos em que, para além dos fatores (que expressam escalas de escores contínuas), aplicam-se também restrições (que se expressam na escala binária 0 - 1), o procedimento pode ser alterado multiplicando o valor calculado com base nos fatores pelo produto das restrições:

$$S = \sum_i W_i * X_i * \prod_j c_j \quad (8)$$

onde c_j é o escore (0 - 1) da restrição j.

Segundo RAMOS(2000), a mais importante característica do procedimento WLC é o fato de permitir a compensação entre fatores, o que significa que uma baixa adequabilidade em uma dado fator, pode ser compensada por um conjunto de boas adequabilidades em outros.

Média Ponderada Ordenada – OWA

YAGER (1988) introduziu uma nova perspectiva de análise através de outro procedimento de agregação de fatores. Essa técnica, além de utilizar os pesos de critérios usados no procedimento WLC, considera outro conjunto de pesos que não estão especificamente ligados a quaisquer fatores, mas que lhes são aplicados por uma ordem que depende do valor dos fatores após aplicação normal do primeiro conjunto de pesos (RAMOS, 2000).

Este procedimento denomina-se OWA e estes novos pesos denominam-se “*order weights*” (pesos ordenados), visto que sua aplicação depende da ordenação dos fatores a serem agregados (YAGER, 1988; EASTMAN *et. al.*, 1998) *apud* RAMOS (2000).

Depois da aplicação do primeiro conjunto de pesos aos fatores (tal como no procedimento WLC), os valores resultantes (agora ponderados) são ordenados do valor mais baixo para o mais elevado. Ao fator com o valor ponderado mais baixo é aplicado o primeiro peso ordenado, ao fator com o segundo valor mais baixo é aplicado o segundo peso ordenado, e assim sucessivamente. Trata-se, portanto, de ponderar os fatores com base na sua ordem, do mínimo para o máximo.

Segundo RAMOS (2000) e MELO (2001), fazendo variar os pesos ordenados, o procedimento OWA permite implementar uma gama vastíssima (na verdade, infinita) de operadores de agregação. Como relatam EASTMAN *et. al.* (1998), em um processo de decisão que envolva três fatores, um conjunto de pesos ordenados [1 0 0] aplicaria todo o peso ao fator com o menor escore, produzindo assim uma solução adversa ao risco (dita pessimista ou conservadora), equivalente ao operador lógico AND (E); um conjunto de pesos ordenados [0 0 1], pelo contrário, aplicaria todo o peso ao fator de mais alto escore, produzindo assim uma solução de elevado risco (dita otimista), equivalente ao operador lógico OR (OU); um conjunto de pesos ordenados [0.33 0.33 0.33], por sua vez, aplicaria igual peso a todos os fatores, produzindo assim uma solução de risco médio com compensação total, equivalente ao operador WLC. Nos dois primeiros casos, apenas os escores extremos

são considerados (o mínimo, no primeiro e, o máximo, no segundo), o que significa que os fatores não podem ser compensados uns pelos outros (ausência de compensação). Contudo, no terceiro caso, como foi atribuído um conjunto de pesos ordenados perfeitamente equilibrado, os fatores podem compensar-se mutuamente (compensação total), no sentido de que a adequabilidade alta em um fator possa compensar a adequabilidade baixa em outro. Na realidade, este terceiro caso é equivalente ao WLC ou, ainda mais corretamente, o procedimento WLC é um caso particular do procedimento mais geral OWA.

Os pesos ordenados não estão obviamente restritos aos três casos apresentados no parágrafo anterior; na verdade, qualquer combinação é possível desde que o seu somatório seja igual a um. O deslocamento dos pesos ordenados no sentido do mínimo ou do máximo controla o nível de risco (também designado por "ANDness"), por sua vez, a homogeneidade de distribuição dos pesos ordenados pelas posições controla o nível global de compensação (também designado por "trade-off")

O resultado é um espectro estratégico de decisão, aproximadamente triangular, definido por um lado pelo risco e, por outro lado, pela compensação (EASTMAN *et. al.*, 1998) apud RAMOS (2000), como se observa na Figura 53.

Figura 53 – Espaço estratégico de decisão OWA (Fonte: Adaptado de RAMOS, 2000).

O nível de risco é medido pela variável Risco, dada pela equação (EASTMAN *et. al.*, 1998):

$$"Risco" = \frac{1}{n-1} \sum_i [(n-i)O_i] \quad (9)$$

e a Compensação é dada por:

$$"Compensação" = 1 - \sqrt{\frac{n \sum_i \left(O_i - \frac{1}{n}\right)^2}{n-1}} \quad (10)$$

onde n é o número total de fatores, i é a ordem do fator e O_i é o peso ("order weight") para o fator de ordem i.

Seleção de Técnicas Associadas à Avaliação Multi-critério

A seleção das técnicas a utilizar depende, desde logo, da sua adequação à situação particular em análise, mas também dos dados e recursos disponíveis.

No que se refere à avaliação de pesos, segundo MELO (2001), sempre que estiver em causa expressar aquelas que são prioridades de um grupo de decisores,

deverá ser utilizado o *Método de Comparações Par-a-Par*. Embora seja um método mais complexo e demorado, que por vezes impõe a iteração para garantir um grau de consistência aceitável, os resultados e o próprio procedimento adequam-se perfeitamente ao problema de vulnerabilidade à perda de solo e à potencialidade de assoreamento nos corpos de água, pois permite uma avaliação da importância relativa dos critérios de localização

Em relação à normalização de critérios, MELO (2001) comenta que o procedimento mais adequado para variáveis contínuas, por exemplo: distâncias, é a aplicação de uma função *fuzzy*, que deverá ser escolhida e calibrada criteriosamente. Por sua vez, nos casos em que se está em presença de critérios envolvendo escalas nominais, por exemplo: uso do solo, deverão ser atribuídos arbitrariamente os valores, de acordo com a escala normalizada adotada.

Finalmente, no que se refere à combinação de critérios, podem ser utilizados os procedimentos de agregação WLC (combinação linear ponderada) ou OWA (média ponderada ordenada), ou ainda uma combinação de ambos ao longo da estrutura hierárquica de decisão (MELO, 2001).

Interessa recorrer ao procedimento OWA sobretudo quando se pretende explorar cenários de risco e variação de compensação.

4.4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.4.1 DESCRIÇÃO DO MATERIAL

Os materiais e equipamentos utilizados no desenvolvimento do presente trabalho foram:

- 04 cartas planialtimétricas do IBGE, edição de 1972:
 - SF-22-X-B-III-2 (Miguelópolis/SP) escala 1:50.000;
 - SF-23-V-A-I-1 (Igarapava/SP) escala 1:50.000;
 - SE-22-Z-C-VI (Veríssimo/MG) escala 1:100.000;
 - SE-23-Y-C-IV (Uberaba/MG) escala 1:100.000.
- 03 mapas de cobertura vegetal e uso do solo do Instituto Estadual de Floresta – IEF/MG, edição de 1994, escala de 1:100.000;
 - SF-22-X-B-III-2 (Guaira/SP) escala 1:100.000;
 - SE-23-Y-C-VI (Veríssimo/MG) escala 1:100.000;
 - SE-23-Y-C-IV (Uberaba/MG) escala 1:100.000
- Imagem de satélite Landsat TM 5 adquirida do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, abril/1999;
- Mapa de Reconhecimento de Solos do Triângulo Mineiro, EMBRAPA/EPAMIG, 1980, escala 1:500.000
- Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, EMBRAPA/IAC, 1999, escala 1:500.000;
- Software de digitalização e edição vetorial CartaLinx, Version 1.2, 1998-99, © The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis;
- Software GIS Idrisi32, Version I32.2, maio de 2001, © The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis - utilizado na geração, manipulação e análises espaciais das imagens em formato raster;
- Software GIS ArcView, Version 3.2a, 1999, © Environmental Systems Research Institute, Inc.;
- Mesa digitalizadora tamanho A1, marca Digigraf;
- Microcomputadores e periféricos.

4.4.2 MÉTODOS

A avaliação multi-critério pode ser implementada num SIG através de um dos dois procedimentos a seguir. O primeiro envolve a sobreposição booleana, na qual todos os critérios são reduzidos a declarações lógicas de adequabilidade (isto é, classificados de forma binária: 0/1) e então combinados por via de operadores lógicos como a interseção (AND - E) e a união (OR - OU). O segundo envolve a combinação de critérios contínuos (fatores), através da normalização para uma escala comum e da aplicação de pesos para a obtenção de médias ponderadas. Por razões que remontam à facilidade com que estas abordagens podem ser implementadas, a sobreposição booleana tem dominado as aplicações em SIG vetoriais, enquanto que a combinação de critérios contínuos domina as aplicações em SIG raster (RAMOS, 2000).

A implementação do modelo corresponde, em um SIG raster, ao processamento de cada pixel de uma imagem raster representativa da área em estudo, permitindo obter um mapa de adequabilidade contínua. Em outras palavras, cada pixel tem uma aptidão para a localização das atividades impactantes (perda de solo e assoreamento), o qual é submetido a uma avaliação multi-critério que determina a sua adequabilidade final.

Estabelecimento dos Critérios

No presente trabalho, optou-se pela análise de um critério ambiental. Esse tem por objetivo discernir os aspectos que individualizam cada critério (importância relativa), o que permite uma melhor comparação par-a-par de todos os fatores envolvidos. Esse procedimento possibilita inicialmente que fatores de mesma natureza sejam relacionados.

Os critérios adotados foram compilados de seis fontes principais: SILVEIRA *et al.*, (1997); CEMIG (1987); IEF /MG (1994); SANO & ALMEIDA (1998); INPE (1999) e IBGE (1972).

CrITÉRIOS Restritivos (Restrições)

As Restrições são um tipo de critério que, como já foi dito, restringem o espaço de solução do problema, através da exclusão de áreas de acordo com determinadas condições. Neste trabalho não foi utilizado nenhum critério restritivo, uma vez que todos os Fatores definidos e posteriormente combinados serviram para avaliar a vulnerabilidade à perda de solo e o potencial de sedimentação dos mananciais superficiais.

CrITÉRIOS Escalonados (Fatores)

Fatores, por outro lado, são critérios que definem algum grau de aptidão para a área considerada. Eles definem áreas ou alternativas em termos de uma medida contínua de adequabilidade, realçando ou diminuindo a importância de uma alternativa em consideração, naqueles locais fora das restrições absolutas. Foram considerados os fatores associados ao critério ambiental.

O critério ambiental foi escalonado em fatores associados à perda de solo, assoreamento da rede de drenagem e do reservatório.

Implementação dos Dados Iniciais

Os planos de informação (PIs) podem ser considerados como arquivos que contém dados para serem manipulados e analisados dentro de um SIG. Os PIs são os diversos temas encontrados em um mapa: altimetria, vegetação, hidrografia, uso do solo, estradas, etc; uma vantagem evidente de se trabalhar com mapas digitais é a possibilidade de separá-los em tantos PIs quanto se queira, e, ao mesmo tempo, agrupá-los da maneira desejada (CALIJURI *et al.*, 1997).

A primeira etapa para o emprego de SIG foi a obtenção dos mapas que compõem a área de influência do reservatório para o período que antecede à construção da barragem, especificamente foram obtidos dados do ano 1965.

As informações individualizadas, relativas às curvas de nível, hidrografia (Rio Grande, 1965), classes de cobertura vegetal e uso do solo de 1965, foram

convertidas ao formato digital, via digitalização direta em mesa digitalizadora, com o uso do Carta Linx v. 1.2, a partir das cartas do IBGE (edição de 1972). O modelo numérico do terreno, para o período que antecede a construção da barragem, foi obtido pela interpolação das curvas de nível extraídas das cartas planialtimétricas do IBGE. A partir desse modelo obteve-se a carta de declividade, em porcentagem, para área de influência do reservatório.

A hidrografia atualizada da área de estudo foi obtida a partir dos mapas de cobertura vegetal e uso do solo de 1994 do IEF/MG.

O mapa de solos da área de influência do reservatório (Figura 13), foi elaborado pela conversão digital do Mapa de Reconhecimento de Solos do Triângulo Mineiro e do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo.

A cobertura vegetal e uso do solo para o ano de 1965 foi gerada por digitalização das cartas planialtimétricas do IBGE, apresentada na Figura 11.

A cobertura vegetal e uso do solo para o ano de 1999 (Figura 12), ano de monitoramento do reservatório, foi obtida da imagem de satélite Landsat TM5 (bandas 3 4 5, órbita 220, ponto 70) de 27/abril/1999. Essa imagem foi posteriormente corrigida e georreferenciada, empregando a metodologia de classificação supervisionada por digitalização de polígonos para cada site de treinamento.

O georreferenciamento da imagem foi feito com o uso do modelo RESAMPLE. Esse procedimento é usado para “referenciar” uma imagem a um sistema de coordenadas universalmente conhecidas, neste caso a Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM). RESAMPLE é uma transformação que enquadra a imagem a um sistema particular de referência, resolvendo uma equação que descreve uma relação entre os dois sistemas de coordenadas.

Para uma boa precisão foram selecionados 70 pontos de controle na imagem de satélite. A classificação supervisionada foi feita após a identificação dos sites de treinamento e a obtenção da composição colorida 3 4 5 (RGB).

Os arquivos vetoriais foram editados para correção de possíveis erros e, posteriormente, rasterizados para realização das análises espaciais. Essas análises fizeram uso de módulos que compõem a análise estratégica de decisão, dentre as disponíveis optou-se pela Média Ponderada Ordenada (OWA).

A padronização é essencialmente um processo de conversão dos valores dos dados originais em escores de adequabilidade ao propósito desejado, aplicando-se os critérios pré-estabelecidos através de pertinência a conjuntos, isto é, de sua associação ao conjunto de áreas potencialmente vulneráveis à perda de solo e ao assoreamento dos corpos de água. Sua importância advém da necessidade de uniformizar as unidades de todos os mapas, atribuindo-lhes uma escala comum de valores de aptidão para que possam ser agregados para a geração de um mapa final de vulnerabilidade à perda de solo da área de influência do reservatório e de seu potencial ao assoreamento, pois cada mapa possui unidades temáticas diferentes. A declividade está em percentagem, a distância da hidrografia está em metros e as unidades naturais contêm classes.

Além de permitir a transformação das unidades das variáveis para uma única base de mensuração, a padronização também serve para hierarquizar internamente cada variável, descrevendo como a adequabilidade à perda de solo, por exemplo, varia espacialmente. No presente trabalho, os valores de todas as variáveis foram escalonados para o intervalo byte (0 a 255).

4.4.2.1 FATORES ASSOCIADOS À PERDA DE SOLO NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO

4.4.2.1.1 Fator cobertura vegetal e uso do solo

Os tipos de cobertura vegetal e uso de solo 1999 (Figura 12) obtidos da classificação supervisionada foram padronizados, ordenando-os em ordem crescente de vulnerabilidade (maior potencial para perda de solo), em uma escala de valores entre 0 - 255.

A Figura 54 apresenta as áreas quantificadas pela vulnerabilidade de perda de solo. Em função da intensa atividade de uso agrícola da área de influência do reservatório, foi considerado que as áreas de solo exposto, irrigadas, de cana-de-açúcar (cultura permanente) e pastagens assumiriam, respectivamente, valores de 255, 225, 150 e 100.

Desde a última década, a região vem passando por transformações em sua cobertura vegetal e uso do solo devido à expansão da fronteira da cana-de-açúcar, principalmente na margem mineira.

Constatou-se para os últimos trinta anos, uma redução de 18,49% em áreas de pastagem, atualmente consideradas em péssimo estado de conservação. Também, foram identificados cerca de 64,27% de desmatamento de cerrados e matas, e, 134,1% de aumento das áreas agrícolas.

4.4.2.1.2 Fator declividade para mecanização

A região apresenta um relevo favorável ao uso intensivo de máquinas agrícolas. Nas áreas próximas ao reservatório predominam declividades entre 0-6%, permitindo uma mecanização total das glebas, tornando-as com isso susceptíveis à perda de solo.

Esse fator foi apresentado na Figura 55 em cinco classes de declividade, em escala decrescente, atribuindo: 255 (0-5%), 180 (5-10%), 100 (10-15%), 50 (15-20%) e 5 (>20%), independentemente da tecnologia e tipos de implementos agrícolas adotados e praticados na área de estudo, sob diferentes culturas e em extensão de áreas plantadas.

4.4.2.1.3 Fator declividade

Para definição do Fator declividade estabeleceu-se para a região de estudo que áreas com alta declividade, maior que 21%, representariam elevada aptidão à perda de solo, independentemente das condições de cobertura vegetal e uso do solo, e da influência de variáveis climatológicas. Quanto menor a declividade, menor a sua vulnerabilidade à perda, mas em contrapartida nas áreas mais próximas ao reservatório esse relevo é favorável ao uso intensivo do solo, o que foi justificado no Fator declividade para mecanização.

Na escala de 0-255, as classes de declividade foram ordenadas de modo crescente, atribuindo-se: 0-3% (25), 3-6% (50), 6-9% (75), 9-12% (100), 12-15% (125), 15-18% (150), 18-21% (200) e >21% (255). Estas classes, também, foram obtidas considerando-se que a área de estudo apresenta um relevo com características suave ondulado. A carta de declividade, em classes, está apresentada na Figura 56.

4.4.2.1.4 Fator tipos de solo

Os tipos de solo estão apresentados na Figura 57, onde a área de estudo está sob influência de Latossolo Vermelho.

Em geral, os Latossolos são solos com boas propriedades físicas para atividades agrícolas e situados, na maioria dos casos, em relevo favorável ao uso intensivo de máquinas agrícolas, exceção daqueles situados em regiões serranas. Sua elevada friabilidade permite que sejam facilmente preparados para o cultivo. O relevo é pouco movimentado, com exceção dos solos situados em região serrana, com declives inferiores a 5% o que permite a total mecanização. Esse fato qualifica os Latossolos entre os mais adequados a agricultura extensiva na área do reservatório.

Segundo LOMBARDI NETO & BERTONI (1975), os Latossolos apresentam boa tolerância à perda por erosão; tais dados acrescidos da boa permeabilidade interna e capacidade de infiltração, além do relevo pouco declivoso, levaram OLIVEIRA & van den BERG (1985) a considerá-los, quando de textura argilosa, como solos com baixa erodibilidade. Portanto, ao Latossolo Vermelho foi atribuído o valor 80 na escala de 0-255. Os Latossolos de textura franco arenosa devido à baixa coesão são mais susceptíveis à erosão.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos apresentam em geral maior relação textural entre os horizontes A ou E e o horizonte B textural do que os Argissolos Vermelhos, sendo por isso, em igualdade de condições de relevo, cobertura vegetal e de manejo, mais susceptíveis à erosão.

Os Argissolos, em geral, apresentam textura média ou arenosa em superfície e baixa atividade da fração argilosa, conseqüentemente são de fácil preparo para o plantio. A área sob influência desse solo foi escalonada com o valor máximo (255).

Os Nitossolos apresentam limitações que se relacionam com a erodibilidade relativamente alta, sendo comum a ocorrência de erosão acentuada em áreas inadequadamente utilizadas. Observa-se que, em igualdade de condições, esses solos apresentam maior risco à erosão que os Latossolos Vermelhos de textura argilosa.

Após a padronização de todos os fatores na escala de 0-255 foi usado um método de agregação para chegar ao resultado final, definindo o grau de susceptibilidade da área à perda de solo.

Para aplicar o conjunto de pesos ordenados aos fatores utilizou-se a técnica de comparação par a par disponível no módulo WEIGHT, gerando uma matriz de comparação pareada entre os fatores. Para agregar os quatros fatores citados anteriormente, utilizou a técnica da Média Ponderada Ordenada (OWA).

MAPA DE FATOR USO DO SOLO NA ÁREA DA UHE - VOLTA GRANDE USO DA TERRA - 1999

ESCALA 1:300.000

10 0 10 Km

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CLASSES DO FATOR USO DO SOLO USO DA TERRA - 1999

- Vegetação de várzea e área do distrito industrial (05)
- Vegetação remanescente: matas, cerrado e mata ciliar (15)
- Área urbanizada (75)
- Pastagem e campo (100)
- Área agrícola: cultura permanente (150)
- Área agrícola irrigada: cultura temporária (225)
- Solo exposto (255)

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Área não sensoriada
- Afluentes
- Reservatório da UHE - Volta Grande
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande

NOTA EXPLICATIVA

Na avaliação multi-critério as tomadas de decisão são baseadas pela consideração de Critérios. Os Critérios podem ser Fatores ou Restrições. O mapa apresentado acentua ou diminui a aptidão de determinadas áreas para a perda de solo e o aporte de material para os corpos d'água.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

MAPA DE FATOR DECLIVIDADE PARA MECANIZAÇÃO NA ÁREA DA UHE - VOLTA GRANDE

ESCALA 1:300.000

10 0 10 Km

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CLASSES DE FATOR DECLIVIDADE PARA MECANIZAÇÃO

- 0 - 5% (255)
- 5 - 10% (180)
- 10 - 15% (100)
- 15 - 20% (50)
- > 20% (5)

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Afluentes
- Reservatório da UHE - Volta Grande
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande

NOTA EXPLICATIVA

Na avaliação multi-critério as tomadas de decisão são baseadas pela consideração de Critérios. Os Critérios podem ser Fatores ou Restrições. O mapa apresentado acentua ou diminui a aptidão de determinadas áreas para a perda de solo, em função da declividade, sob o aspecto da mecanização agrícola.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

FIGURA - 55

MAPA DE FATOR DECLIVIDADE NA ÁREA DA UHE - VOLTA GRANDE

ESCALA 1:300.000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CLASSES DE FATOR DECLIVIDADE

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

NOTA EXPLICATIVA

Na avaliação multi-critério as tomadas de decisão são baseadas pela consideração de Critérios. Os Critérios podem ser Fatores ou Restrições. O mapa apresentado acentua ou diminui a aptidão de determinadas áreas para a perda de solo sob o aspecto da declividade do terreno.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

MAPA DE FATOR TIPOS DE SOLO NA ÁREA DA UHE - VOLTA GRANDE

ESCALA 1:300.000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CLASSES DO FATOR TIPOS DE SOLO

- GM - Gleissolo Melânico (10)
- LA - Latossolo Amarelo (50)
- LV - Latossolo Vermelho (80)
- LVA - Latossolo Vermelho-Amarelo (120)
- NV - Nitossolo Vermelho (170)
- PVA - Argissolo Vermelho-Amarelo (255)

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Afluentes
- Reservatório da UHE - Volta Grande
- Ilhas da UHE - Volta Grande
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande

NOTA EXPLICATIVA

Na avaliação multi-critério as tomadas de decisão são baseadas pela consideração de Critérios. Os Critérios podem ser Fatores ou Restrições. O mapa apresentado acentua ou diminui a aptidão de determinadas áreas para a perda de solo sob o aspecto dos tipos de solo.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

4.4.2.1.5 Combinação de fatores associados à perda de solo

A matriz de comparação entre os fatores para a definição do grau de susceptibilidade à perda de solo, está apresentada na Tabela 45, cujos pesos calculados para cada fator estão na Tabela 46.

Aplicando-se o procedimento OWA foram modelados cinco cenários visando uma melhor representação da realidade da área de estudo. As diferentes avaliações definidas pelo espaço estratégico de decisão (Figura 53) a partir das cinco combinações de Risco (*“trade-off”*) deram origem a um conjunto de imagens (Figuras 58A, 58B, 58C, 58D, 58E) cuja sequência permite visualizar o comportamento espacial da aptidão da área de influência do reservatório à perda de solo.

A avaliação risco baixo sem compensação (Figura 58 A) corresponde a quase totalidade da área de influência do reservatório em potencial muito baixo à perda de solo, enquanto que no cenário risco médio baixo com compensação parcial (Figura 58 B) as manchas de perda média avançam sobre essa primeira, oferecendo maior susceptibilidade à perda de solo.

Para o risco médio alto com compensação parcial (Figura 58 E) visualiza-se o deslocamento das manchas de alto e muito alto potencial à perda de solo na margem paulista.

A Figura 58 C ressalta as áreas de pastagem onde ocorre risco baixo à perda de solo. Em permanecendo um avanço de áreas agrícolas com predomínio de culturas permanentes (cana-de-açúcar) e de áreas irrigadas, na região mineira, pode-se avaliar que, a curto prazo, a área de influência do reservatório estará comprometida, com risco médio-alto à perda de solo. Entretanto, a Figura 58 E caracteriza o quadro de uso e ocupação do solo, acima descrito, avaliando que as áreas de risco baixo (pastagem) podem sofrer risco médio-alto à perda de solo. Essa mudança da cobertura vegetal e uso do solo implicará em mudanças comportamentais na área de influência do reservatório de Volta Grande sob os aspectos de conservação e manejo do solo.

Tabela 45 – Matriz de comparação entre os fatores para a definição do grau de vulnerabilidade à perda de solo.

Fatores	Cobertura vegetal e uso do solo	Declividade para mecanização	Declividade	Tipos de solo
Cobertura vegetal e uso do solo	1			
Declividade para mecanização	1/3	1		
Declividade	1/5	1/3	1	
Tipos de solo	1/7	1/5	1/3	1

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
extremamente	bastante	muito	pouco	igual	pouco	muito	bastante	extremamente
Menos importante							Mais importante	

Tabela 46 – Pesos calculados para a análise de vulnerabilidade à perda de solo

Fatores	Pesos
Cobertura vegetal e uso do solo	0,5650
Declividade para mecanização	0,2622
Declividade	0,1175
Tipos de solo	0,0553

Tabela 47- Distribuição dos pesos ordenados e tipos de avaliação para a perda de solo

Figuras	Pesos ordenados	Tipos de avaliação
A	(1.00 0.00 0.00 0.00)	Risco baixo, sem compensação
B	(0.45 0.30 0.15 0.10)	Risco médio-baixo, compensação parcial
C	(0.05 0.45 0.45 0.05)	Risco médio, compensação parcial
D	(0.25 0.25 0.25 0.25)	Risco médio, compensação total
E	(0.10 0.15 0.30 0.45)	Risco médio-alto, compensação parcial

TIPOS DE AVALIAÇÃO PARA PERDA DE SOLO NA ÁREA DA UHE - VOLTA GRANDE, USO DA TERRA - 1999

Figura 58A - Avaliação OWA: risco baixo sem compensação.

Figura 58B - Avaliação OWA: risco médio-baixo com compensação parcial.

Figura 58C - Avaliação OWA: risco médio com compensação parcial.

Figura 58D - Avaliação OWA: risco médio com compensação total.

Figura 58E - Avaliação OWA: risco médio-alto com compensação parcial.

CLASSES DE RISCO À PERDA DE SOLO

- Muito baixa
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta

NOTA EXPLICATIVA

Cartas elaboradas a partir da análise multicritério no módulo OWA para cinco níveis de risco (Tabela 47, p.146) definidos no espaço estratégico de decisão.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira

ESCALA 1:900.000

A avaliação *risco médio com compensação parcial* (Figura 58 C) gerou a imagem que mais se aproxima do contexto real. A Figura 59 apresenta a carta de risco potencial de perda de solo na área da UHE-Volta Grande. A carta foi classificada em cinco categorias de risco potencial à perda de solo, sendo: - *muito baixa*, - *baixa*, - *média*, - *alta*, - *muito alta*.

A Tabela 48 mostra os resultados do grau de vulnerabilidade à perda de solo.

Tabela 48 - Distribuição do grau de vulnerabilidade à perda de solo da área de influência do reservatório.

Grau de vulnerabilidade	Área (ha)	%
Muito baixa	12.002,458	4,52
Baixa	108.285,376	40,81
Média	125.138,316	47,16
Alta	19.731,037	7,43
Muito alta	188,076	0,07

A carta de risco potencial de perda de solo permite uma constatação de que a área paulista possui risco médio de vulnerabilidade, com ocorrência de regiões de alta perda de solo, principalmente nas terras irrigadas e de solo exposto. O lado mineiro possui áreas de vulnerabilidade baixa onde predominam pastagens, e, média em áreas agrícolas com cana-de-açúcar.

**CARTA DE RISCO POTENCIAL DE PERDA DE SOLO NA ÁREA DA UHE - VOLTA GRANDE
USO DA TERRA - 1999**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

**CLASSES DE RISCO DE PERDA DE SOLO
USO DA TERRA - 1999**

- Muito baixa
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Área não sensoriada
- Afluentes
- Reservatório da UHE - Volta Grande
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande

NOTA EXPLICATIVA

Carta elaborada a partir da análise multicritério no módulo OWA. Tipo de avaliação:
Risco Médio, compensação parcial (Figura 58C, p.147).

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

ESCALA 1:300.000

FIGURA - 59

4.4.2.2 FATORES ASSOCIADOS AO ASSOAREAMENTO NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO

4.4.2.2.1 Fator assoreamento

A base de dados original, as cartas planialtimétricas do IBGE, possibilitou a caracterização de áreas sujeitas ao aporte de material particulado, ressaltando as áreas sujeitas à inundação, brejos e áreas submersas pelas águas da barragem.

A padronização dos valores para escala de 0-255 foi feita da seguinte forma: as áreas sujeitas à inundação no período que antecede à construção do reservatório receberam o valor máximo de 255; as ilhas que foram inundadas pelo represamento, mas sujeitas à inundação durante a existência do Rio Grande, receberam o segundo maior valor (180). Aos cursos de água com matas ciliares e de galerias, mesmo que parcialmente degradadas, foi atribuído o valor de 130. As classes denominadas de brejo, leito natural do Rio Grande, área inundada pelo barramento e ilhas existentes no Rio Grande, mas totalmente inundadas, receberam, na escala, os seguintes valores: 5, 15, 75 e 100, respectivamente.

A Figura 60 mostra o fator assoreamento na área de influência do reservatório.

4.4.2.2.2 Fator distância da hidrografia

Nesta etapa, foi utilizado o conceito de lógica *fuzzy*, inserido no módulo FUZZY do Idrisi32, I32.2, para dar a todas as localizações um valor representando seu grau de adequabilidade..

O arquivo que originou o fator distância foi o PI hidrografia digitalizado a partir dos mapas de cobertura vegetal e uso do solo (1994) do IEF/MG descritos no item 4.4.1

Para o estabelecimento desse fator considerou-se que, mantendo-se constante todos os parâmetros que caracterizam um escoamento superficial, quanto

mais distante uma partícula de um curso de água menor será a probabilidade de aporte de material particulado na hidrografia.

Para padronizar o fator distância da hidrografia, empregou-se a função *fuzzy* sigmoidal decrescente com os seguintes pontos de controle: distância mínima (0,0m) igual a 255 e máxima distância (2455,06m) o valor 0. Atribuiu-se maior importância para as áreas de fundo de vale, em desfavor de outras. A Figura 61 mostra esse fator padronizado

4.4.2.2.3 Fator declividade para assoreamento da área de influência

A baixa declividade da área de influência (de 0 a 8%) favorece maior sedimentação de materiais, uma vez que nas proximidades dos mananciais superficiais há extensas áreas agrícolas que possibilitam o escoamento superficial de material particulado para o sistema de drenagem. O cruzamento dos fatores declividade e distância da hidrografia caracterizaram áreas favoráveis à sedimentação. Desde então, estabeleceu-se classes com intervalo de 2%. Essas classes, apresentadas na Figura 62, foram padronizadas em ordem decrescente do seguinte modo: 255 (0-2%), 200 (2-4%), 175 (4-6%), 150 (6-8%), 100 (8-10%), 50 (10-12%), 20 (12-14%) e 0 (>14%).

4.4.2.2.4 Fator cobertura vegetal e uso do solo

O procedimento foi descrito no item 4.4.2.1.1. Esse fator está apresentado na Figura 54.

4.4.2.2.5 Fator tipos de solo

O procedimento foi descrito no item 4.4.2.1.4. Esse fator está apresentado na Figura 57.

MAPA DE FATOR ASSOREAMENTO NA ÁREA DA UHE - VOLTA GRANDE

ESCALA 1:300.000

10 0 10 Km

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CLASSES DO FATOR ASSOREAMENTO

- Brejo (05)
- Rio Grande (15)
- Área inundada pela UHE - Volta Grande (75)
- Ilhas inundadas pela UHE - Volta Grande (100)
- Hidrografia da área UHE - Volta Grande (130)
- Ilhas inundadas pela UHE - Volta Grande com áreas sujeitas à inundação em 1965 (180)
- Áreas inundadas pela UHE - Volta Grande sujeitas à inundação em 1965 (255)

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Ilhas da UHE - Volta Grande
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande

NOTA EXPLICATIVA

Na avaliação multi-critério as tomadas de decisão são baseadas pela consideração de Critérios. Os Critérios podem ser Fatores ou Restrições. O mapa apresentado acentua ou diminui a aptidão de determinadas áreas para o assoreamento da hidrografia na área de influência do reservatório.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

MAPA DE FATOR DISTÂNCIA DA HIDROGRAFIA NA ÁREA DA UHE - VOLTA GRANDE

ESCALA 1:300.000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

ESCALA DO FATOR DISTÂNCIA DA HIDROGRAFIA

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

NOTA EXPLICATIVA

Utilizando o módulo DISTANCE na imagem da hidrografia da área de influência da UHE - Volta Grande, gerou-se a imagem de distância dos cursos d'água. No módulo Decision Support - FUZZY aplicou-se a função sigmoideal decrescente.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

FIGURA - 61

MAPA DE FATOR DECLIVIDADE NA ÁREA DA UHE - VOLTA GRANDE

ESCALA 1:300.000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CLASSES DE FATOR DECLIVIDADE

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

NOTA EXPLICATIVA

Na avaliação multi-critério as tomadas de decisão são baseadas pela consideração de Critérios. Os Critérios podem ser Fatores ou Restrições. O mapa apresentado define o intervalo de declividade na área de influência do Reservatório da UHE - Volta Grande.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

4.4.2.2.6 Combinação de fatores associados ao assoreamento na área de influência do reservatório

A matriz de comparação entre os fatores para a definição do grau de vulnerabilidade ao assoreamento dos corpos de água está apresentada na Tabela 48 e os pesos calculados para cada fator estão na Tabela 49.

As Figuras 63A, 63B, 63C, 63D e 63E apresentam os tipos de avaliação para a geração de cartas de risco potencial de assoreamento dos mananciais superficiais, a partir das cinco combinações de Risco (*“trade-off”*), citadas no item 4.4.2.1.5 (Figura 58).

A Figura 64 apresenta a carta de risco potencial de assoreamento na hidrografia da área de influência do reservatório. A carta foi classificada em cinco categorias de risco potencial à perda de solo, sendo: - *muito baixa*, - *baixa*, - *média*, - *alta*, - *muito alta*.

Tabela 49 - Matriz de comparação entre os fatores para a definição do grau potencial de assoreamento nos mananciais superficiais

Fatores	Assoreamento	Distância	Declividade	Cobertura vegetal e uso do solo	Tipos de solo
Assoreamento	1				
Distância	1/3	1			
Declividade	1	1	1		
Cobertura vegetal e uso do solo	1/5	1/5	1/5	1	
Tipos de solo	1/9	1/9	1/5	1	1

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
extremamente	bastante	muito	pouco	igual	pouco	muito	bastante	extremamente
Menos importante							Mais importante	

Tabela 50 - Pesos calculados para os fatores na análise de vulnerabilidade ao assoreamento dos mananciais superficiais

Fatores	Pesos
Assoreamento	0,3925
Distância	0,2472
Declividade	0,2651
Cobertura vegetal e uso do solo	0,0530
Tipos de solo	0,0421

Tabela 51 - Distribuição dos pesos ordenados e tipos de avaliação para o assoreamento dos mananciais superficiais

Figuras	Pesos ordenados	Tipos de avaliação
A	(1.00 0.00 0.00 0.00 0.00)	Risco baixo, sem compensação
B	(0.55 0.25 0.10 0.05 0.05)	Risco médio-baixo, compensação parcial
C	(0.05 0.15 0.60 0.15 0.05)	Risco médio, compensação parcial
D	(0.20 0.20 0.20..0.20 0.20)	Risco médio, compensação total
E	(0.05 0.05 0.10 0.25 0.55)	Risco médio-alto, compensação parcial

Tabela 52 - Distribuição do grau de vulnerabilidade ao assoreamento dos mananciais superficiais.

Grau de vulnerabilidade	Área (ha)	%
Muito baixa	4.971,175	22,06
Baixa	7.668,571	34,02
Média	5.623,381	24,95
Alta	2.282,679	10,13
Muito alta	1.993,487	8,84

As Figuras 63A e 63B não permitem uma avaliação para tomadas de decisão, devido à agregação dos fatores, como por exemplo: a existência de áreas submersas do reservatório com baixa declividade que contribuem para o processo de deposição.

Nesta avaliação multi-critério, a Figura 63C identifica um potencial médio para a rede de drenagem afluyente ao reservatório, com trechos específicos de risco alto ao assoreamento dos cursos de água. Em relação ao reservatório, é possível visualizar o leito do Rio Grande, o que se traduz sob o conceito de sua morfometria, ou seja, o lago represado ainda sofre influências da calha fluvial e das variações de vazão, mantendo, portanto, potencial de risco baixo.

Os cenários das Figuras 63D e 63E mostram a potencialidade favorável ao assoreamento da hidrografia da área de influência do Reservatório de Volta Grande, onde a cobertura vegetal e uso do solo podem refletir negativamente sob os aspectos quantitativos e qualitativos dos cursos de água

Na Tabela 50, observa-se que há 34,02% de áreas com potencialidade baixa. Essa ocorrência de maior quantidade de áreas sujeitas ao assoreamento na rede hidrográfica está incluída em grande parte em áreas do reservatório.

A rede de drenagem afluyente ao reservatório apresentou média potencialidade de assoreamento, com exceção das áreas sob Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, onde predominam declividades acima de 10% e regiões de nascentes.

Ao longo da hidrografia são observados trechos isolados de alto potencial de sedimentação, por exemplo: um trecho de alto risco para assoreamento pode ocorrer onde existem áreas com declividade de 3% a 9%, alto índice de mecanização, solo exposto e ausência de matas de galeria ou ciliar.

Estes resultados corroboram com os obtidos na carta de risco potencial de perda de solo. Portanto, medidas de recuperação de matas ciliar e de galeria, recomposição das áreas degradadas do cerrado e de pastagens, aliadas às práticas conservacionistas de solo, provavelmente deverão minimizar os impactos nos recursos hídricos.

O uso do SIG passa a ser uma poderosa ferramenta de planejamento no âmbito da capacidade de uso racional das terras e dos mananciais.

TIPOS DE AVALIAÇÃO PARA O ASSOREAMENTO DA HIDROGRAFIA NA ÁREA DA UHE - VOLTA GRANDE, USO DO SOLO 1999

Figura 63A - Avaliação OWA: risco baixo sem compensação.

Figura 63B - Avaliação OWA: risco médio-baixo com compensação parcial.

Figura 63C - Avaliação OWA: risco médio com compensação parcial.

Figura 63D - Avaliação OWA: risco médio com compensação total.

Figura 63E - Avaliação OWA: risco médio-alto com compensação parcial.

CLASSES RISCO DE ASSOREAMENTO

	Muito baixa
	Baixa
	Média
	Alta
	Muito alta

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

	Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande
	Cota de inundação do reservatório

NOTA EXPLICATIVA

Cartas elaboradas a partir da análise multicritério no módulo OWA para cinco níveis de risco (Tabela 51, p.156) definidos no espaço estratégico de decisão.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira

ESCALA 1:900.000

CARTA DE RISCO POTENCIAL DE ASSOREAMENTO NA HIDROGRAFIA DA UHE - VOLTA GRANDE

ESCALA 1:300.000

10 0 10 Km

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CLASSES DE ASSOREAMENTO

- Muito baixa
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Ilhas da UHE - Volta Grande
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande

NOTA EXPLICATIVA

A carta apresentada acentua ou diminui a aptidão de determinadas áreas de assoreamento nos mananciais superficiais da área de influência do reservatório de Volta Grande, em função do uso do solo. A carta foi elaborada a partir da análise multicritério no módulo OWA. Tipo de avaliação: risco Médio, compensação parcial (Figura 63C, p.158).

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

4.4.2.3 FATORES ASSOCIADOS AO ASSOREAMENTO NO RESERVATÓRIO

4.4.2.3.1 Fator declividade da área submersa

O fator declividade no reservatório (Figura 65) define o intervalo de classes de declividade da área inundada pela barragem. A partir do PI original de curvas de nível (período que antecede à construção da barragem), aplicou-se uma máscara booleana do reservatório com o objetivo de definir o intervalo de declividade da área represada.

Esse fator foi obtido a partir da carta de declividades da área represada. Foram adotadas classes em intervalos de 3%, padronizadas em ordem decrescente: 255 (0-3%), 200 (3-6%), 100 (6-9%), 75 (9-12%), 30 (12-15%), 15 (15-18%), 5 (18-21%) e 0 (>21%).

O intervalo de 0-6% agrega áreas de maior potencial para o assoreamento ao longo do reservatório, em favor de áreas que já eram sujeitas à deposição de material, anteriores ao barramento do rio Grande, e das áreas inundadas pela barragem.

4.4.2.3.2 Fator assoreamento

O fator assoreamento na área represada está apresentado na Figura 66. Em função da variação espacial, reservatórios são reconhecidamente heterogêneos. Primeiro pela modificação de vazão: rio-fase de transição-lago, e, segundo pelas características morfométricas do sistema (braços), presença de ilhas, e tributários que favorecem uma maior heterogeneidade.

O reservatório de Volta Grande não possui grandes tributários, não apresenta compartimentos definidos, mas mantém a sua sinuosidade do leito original, podendo ser considerado um reservatório com perfil longitudinal de características de um rio de grande porte. Dessa maneira, atribuiu-se ao fator cinco classes em favor do potencial à sedimentação, respectivamente: - leito natural do Rio Grande (5), -

ilhas submersas (80), - áreas inundadas pela barragem (125), - ilhas inundadas pela represa, porém com áreas naturais à inundação (185) e, - áreas inundadas pela barragem, mas sujeitas à inundação natural (255).

Estas informações de ilhas e áreas sujeitas à inundação, do período que antecede a construção da barragem, foram obtidas através das cartas do IBGE.

4.4.2.3.3 Fator distância do Rio Grande

Utilizando o módulo DISTANCE para o leito do Rio Grande sob influência da área inundada, gerou-se o fator distância da calha do rio, mostrado na Figura 67.

Na determinação deste fator levaram-se em consideração as áreas inundadas pelo represamento, a sua baixa declividade (de 0 a 6%) e a ocorrência de ilhas que hoje se encontram submersas. Assim sendo, a hipótese favorece o processo de sedimentação. Convém ressaltar que o reservatório de Volta Grande não tem apresentado variações de vazão significativas ao longo de sua existência, e observa-se os efeitos da calha fluvial no processo de arraste e ressuspensão de material. Portanto, foi atribuído que, a partir das margens do leito do rio, a região represada passa a receber maior contribuição de sedimentos.

A função *fuzzy* sigmoidal crescente foi aplicada para padronização dos valores com os seguintes pontos de controle: das margens do Rio Grande (distância: 0,0m) até a cota máxima de inundação (distância: 10.263,21m no ribeirão do Buriti, afluente mineiro), respectivamente, de 0 a 255 no fator escala.

4.4.2.3.4 Fator vegetação inundada

O fator vegetação inundada caracteriza a cobertura vegetal e uso do solo inundados pela barragem (Figura 68). A padronização foi feita considerando as características predominantes da cobertura vegetal e uso do solo-1965 (Tabela 01), da seguinte forma: 5 (matas), 35 (cerrado), 100 (cultura permanente – cana), 175 (cultura temporária – milho, soja, etc.) e 255 (pastagens). Na Figura 68, visualiza-se

a ocupação do solo em atividades agropecuárias e a inexistência de matas ciliares em regiões de baixa declividade. Um fato que pode ser analisado é a proximidade dessas atividades em relação ao leito do rio Grande, que propiciam maior contribuição de agrotóxicos para os corpos de água, cabendo ressaltar que, mesmo após o represamento, as terras próximas às margens do reservatório continuam sendo utilizadas para fins agrícolas e de pastoreio.

MAPA DE FATOR DECLIVIDADE NO RESERVATÓRIO DA UHE - VOLTA GRANDE

ESCALA 1:300.000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CLASSES DE FATOR DECLIVIDADE

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

NOTA EXPLICATIVA

Na avaliação multi-critério as tomadas de decisão são baseadas pela consideração de Critérios. Os Critérios podem ser Fatores ou Restrições. O mapa apresentado define o intervalo de declividade da área inundada do reservatório de Volta Grande.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

FIGURA - 65

MAPA DE FATOR ASSOREAMENTO NO RESERVATÓRIO DA UHE - VOLTA GRANDE

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CLASSES DO FATOR ASSOREAMENTO

- Rio Grande (15)
- Ilhas inundadas pela UHE - Volta Grande (80)
- Áreas inundadas pela UHE - Volta Grande (125)
- Ilhas inundadas pela UHE - Volta Grande com áreas sujeitas à inundação em 1965 (185)
- Áreas inundadas pela UHE - Volta Grande sujeitas à inundação em 1965 (255)

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Hidrografia da UHE - Volta Grande
- Ilhas da UHE - Volta Grande
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande

NOTA EXPLICATIVA

Na avaliação multi-critério as tomadas de decisão são baseadas pela consideração de Critérios. Os Critérios podem ser Fatores ou Restrições. O mapa apresentado acentua ou diminui a aptidão natural de determinadas áreas para o assoreamento na área representada do reservatório.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

ESCALA 1:300.000

10 0 10 Km

MAPA DE FATOR DISTÂNCIA DO RIO GRANDE NO RESERVATÓRIO DA UHE - VOLTA GRANDE

ESCALA 1:300.000

10 0 10 Km

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

ESCALA DO FATOR DISTÂNCIA DO RIO GRANDE

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

NOTA EXPLICATIVA

Utilizando o módulo DISTANCE para o leito do Rio Grande sob influência da área inundada da UHE - Volta Grande, gerou-se o mapa de fator distância a partir das margens da calha fluvial do Rio Grande. No módulo Decision Support - FUZZY aplicou-se a função sigmoidal crescente.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira

Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

MAPA DE FATOR VEGETAÇÃO INUNDADA NO RESERVATÓRIO DA UHE - VOLTA GRANDE

ESCALA 1:300.000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CLASSES DO FATOR VEGETAÇÃO INUNDADA

- Matas (5)
- Cerrado (35)
- Cultura permanente (100)
- Cultura temporária (175)
- Pastagem e campo (255)

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Hidrografia da área de influência da UHE - Volta Grande
- ilhas da UHE - Volta Grande
- Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande

NOTA EXPLICATIVA

Na avaliação multi-critério as tomadas de decisão são baseadas pela consideração de Critérios. Os Critérios podem ser Fatores ou Restrições. O mapa apresentado caracteriza a cobertura vegetal inundada pela UHE - Volta Grande.

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

4.5.3 Combinação de fatores associados ao assoreamento no reservatório

A matriz de comparação par a par entre os fatores agregados na definição da potencialidade ao assoreamento no reservatório, através do módulo WEIGHT, está apresentada na Tabela 53, cujos pesos calculados para cada fator estão na Tabela 54.

A Tabela 55 apresenta a distribuição dos pesos ordenados e os tipos de avaliação, gerando cartas de risco potencial de assoreamento no reservatório.

Tabela 53 - Matriz de comparação entre os fatores para a definição do potencial de assoreamento no reservatório

Fatores	Declividade área submersa	Assoreamento	Distância	Vegetação inundada
Declividade área submersa	1			
Assoreamento	1	1		
Distância	1/3	1/3	1	
Vegetação inundada	1/7	1/9	1/5	1

Tabela 54 - Pesos calculados para cada fator na análise de vulnerabilidade ao assoreamento

Fatores	Pesos
Declividade área submersa	0,3886
Assoreamento	0,4100
Distância	0,1581
Vegetação inundada	0,0434

Tabela 55 - Distribuição dos pesos ordenados e tipos de avaliação para assoreamento no reservatório

Figuras	Pesos ordenados	Tipos de avaliação
A	(1.00 0.00 0.00 0.00)	Risco baixo, sem compensação
B	(0.45 0.30 0.15 0.10)	Risco médio-baixo, compensação parcial
C	(0.05 0.45 0.45 0.05)	Risco médio, compensação parcial
D	(0.25 0.25 0.25 0.25)	Risco médio, compensação total
E	(0.10 0.15 0.30 0.45)	Risco médio-alto, compensação parcial

Na mesma linha das seções anteriores, procedeu-se a uma análise das imagens para enquadramento das zonas do reservatório que são representativas das condições atuais. Apesar da área de influência apresentar potencial baixo a médio à perda de solo, considerando que um sistema de baixa declividade favorece maior sedimentação de materiais, pode-se, portanto, excluir dos cenários de decisão a avaliação de risco baixo sem compensação (Figura 69A).

Quando da realização da coleta de sedimentos do fundo, de 29 a 31/agosto/1999, em todas as dezessete seções efetuou-se medidas batimétricas. Observou-se que a calha fluvial mantém um fluxo de velocidade maior em relação às áreas marginais. Portanto, a Figura 69D não é próxima de uma atitude de decisão, pois o leito do rio resultou em uma classe de risco médio à sedimentação.

As avaliações risco médio-baixo e médio, com compensações parciais, respectivamente, Figuras 69B e C, mantiveram para o leito do rio uma classe potencial muito baixa ao assoreamento, que justifica o fato observado durante a campanha de coleta de sedimentos, e, para as áreas represadas as seguintes classes: de baixa a média, e de média a alta, respectivamente às figuras acima mencionadas.

Tabela 56- Distribuição do grau de vulnerabilidade ao assoreamento no reservatório.

Grau de vulnerabilidade	Área (ha)	%
Muito baixa	4854,210	26,08
Baixa	1935,005	10,40
Média	6563,338	35,26
Alta	5227,820	28,09
Muito alta	33,225	0,18

Em geral , o reservatório apresenta potencial de risco médio (Figura 69C), onde foram priorizados os fatores declividade e assoreamento, respectivamente, Figuras 65 e 66. As áreas avaliadas com alto índice potencial de sedimentação correspondem ao braço do Buriti (maior tributário inundado na margem mineira), e às áreas que eram sujeitas à inundação anteriormente ao represamento.

A região de alto potencial apresenta declividades entre 0 a 6%, e ao seu redor, no ano de 1999, na margem paulista foram encontradas áreas irrigadas e cultivo de cana, enquanto que na margem mineira predominava a cana-de-açúcar, pastagem e solo exposto. Convém ressaltar que essa região apresentou um médio a alto potencial para perda de solo, de acordo com a carta de risco (Figura 59).

Atualmente no ribeirão do Buriti e no rio do Carmo observa-se um acelerado processo de assoreamento e, se visualizado nas cartas de risco potencial de perda de solo e de assoreamento (Figuras 59 e 70), esses cursos de água estão localizados, respectivamente, em uma região de alta e média potencialidade à perda de solo e de assoreamento.

TIPOS DE AVALIAÇÃO PARA O ASSOREAMENTO NO RESERVATÓRIO DA UHE - VOLTA GRANDE

Figura 69A - Avaliação OWA: risco baixo sem compensação.

Figura 69B - Avaliação OWA: risco médio-baixo com compensação parcial.

Figura 69C - Avaliação OWA: risco médio com compensação parcial.

Figura 69D - Avaliação OWA: risco médio com compensação total.

Figura 69E - Avaliação OWA: risco médio-alto com compensação parcial.

CARTA DE RISCO POTENCIAL DE ASSOREAMENTO NO RESERVATÓRIO DA UHE - VOLTA GRANDE

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CLASSES DO ASSOREAMENTO

	Muito baixa
	Baixa
	Média
	Alta
	Muito alta

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

	Afluentes
	Ilhas da UHE - Volta Grande
	Contorno da área de influência da UHE - Volta Grande

NOTA EXPLICATIVA

A carta apresentada acentua ou diminui a aptidão de determinadas áreas para o assoreamento do reservatório de Volta Grande. A carta foi elaborada a partir da análise multicritério no módulo OWA. Tipo de avaliação: Risco Médio, compensação parcial (Figura 69C, p.170).

Autor: Márcio Augusto de Sousa Nogueira
Localização da área

Projeção: UTM - Universal Transversa de Mercator
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba/SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre/MG

FIGURA - 70

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Entre o período de 1965 a 1999 observou-se um franco processo de modificações da cobertura vegetal e uso do solo, especialmente na região mineira da área de influência do reservatório de Volta Grande. O que tradicionalmente eram áreas de pastagem e cerrados, passou a ser ocupado pelo cultivo de cana-de-açúcar, intercalando-o com culturas de ciclo curto (milho, soja, sorgo, etc.). Esse fato possibilitou maior contribuição de material alóctone para o reservatório e seus afluentes.

As concentrações de material em suspensão registradas foram um bom indicativo de que a precipitação atuou no sistema, verificando que as maiores concentrações ocorreram no período chuvoso (coletas de março e novembro), diminuindo no período seco (coletas de junho e agosto).

Verificou-se que na estação de coleta CS 02, foram registradas as maiores concentrações de material em suspensão, de nutrientes e a mais alta taxa de sedimentação. Nessa estação, obteve-se 64% e 71% para a fração inorgânica do material em suspensão, nos meses de março e novembro, respectivamente.

Com relação ao material sedimentado nas câmaras da estação CS 02, registrou-se 85% de material inorgânico, sendo portanto a estação mais susceptível ao assoreamento.

A estação CS 02 apresentou os maiores valores de fósforo após o período de 48 horas nas câmaras de sedimentação e no sedimento de fundo. De modo geral, as amostras de sedimento de fundo apresentaram valores de fertilidade média a alta, classe textural média a argilosa na zona lacustre e acidez média. Esses valores podem estar associados com as características de uso e ocupação do solo na área de influência do reservatório.

O índice de estado trófico do reservatório foi determinado de acordo com CARLSON (1977), através das concentrações de fósforo total na superfície, sendo que seu índice classifica-se em Eutrófico.

As cartas de risco elaboradas permitiram correlacionar alguns fatores importantes, como: a baixa declividade da área de influência e do reservatório, a presença de Latossolo Vermelho, a extensa área agrícola, pastagem, solo exposto e áreas irrigadas, que podem influenciar a entrada de material em suspensão, a sedimentação e as características limnológicas do reservatório de Volta Grande.

Apesar da perda de solo ser reduzida (potencial de baixo a médio), o sistema com baixa declividade favorece a maior sedimentação. A estação de coleta CS 02 está localizada em uma região compreendida por alto risco de assoreamento, conforme a avaliação risco médio com compensação parcial. O que vem a ser confirmado pelos valores registrados das taxas de sedimentação de material em suspensão total, de fósforo e nitrogênio totais.

Conclui-se que, dependendo do uso e ocupação da área de influência do reservatório de Volta Grande, o incremento de material alóctone pode ser elevado e a vida útil do sistema ser reduzida, o que foi corroborado através das avaliações: risco médio com compensação total e risco médio alto com compensação parcial à perda de solo. Além disso, a qualidade da água será afetada, principalmente se atividades agrícolas com uso de químicos for intensificada.

Os resultados encontrados na avaliação estratégica, sob os aspectos metodológico e instrumental, mostraram-se eficazes na obtenção de respostas em um processo de decisão.

Uma vantagem na avaliação multi-critério, observada neste estudo, foi a resposta obtida através do operador de Média Ponderada Ordenada (OWA), no desenvolvimento de cenários de avaliação baseados na atitude de risco e compensação entre os critérios.

Em relação as cartas de risco potencial de perda de solo e assoreamento do reservatório, as superfícies de aptidão revelaram um potencial médio, o que significa que a região de estudo foi modelada com aproximação da realidade dos seus múltiplos usos.

Concretamente, considerando a limitação da implementação dos dados iniciais, **há de se** prosseguir a modelagem aumentando a dimensão dos critérios para a consolidação da metodologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, D.T.M.; ARGENTO, M.S.F.; CRUZ, C.B.M.; ZEE, D. (1998). *Qualidade Ambiental da Lâmina d'água da Lagoa Rodrigo de Freitas – RJ, subsídios aos estudos de impactos ambientais em lagoas costeiras*. lilibeth@rio.nutecnet.com.br.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1995). *Standard methods: for the examination of water and wastewater*, 19th ed. APHA, Washington, 1102 p.
- ASSAD, E. D. ; SANO, E. E.. (1998). *Sistemas de informações geográficas. Aplicação na agricultura* - 2º edição, rev. e ampl. - Brasília: EMBRAPA - SPI/EMBRAPA - CPAC, 434p.
- BARBOSA, S.A.R.; GARCIA, F.C.; MARQUES, M.G.S.M.; NASCIMENTO, S.A.(1998). *Nitrogen and phosphorus balance in a eutrophic reservoir in Minas Gerais: a first approach*. Rev. Brasil. Biol., v. 58, n.2, p. 233-239.
- BLOESCH, J. et al. (1977). *Primary production, mineralization, and sedimentation in the euphotic zone of two Swiss lakes*. Limnol. Oceanogr., v. 22, n.5, p .511-526.
- BOGNIOTTI, L.D.B. (1999). *Estudo de impacto ambiental nas Cabeceiras do Ribeirão dos Guaribas e do Rio Uberabinha – Platô de Uberaba (MG): Poluição das águas e solos devido às atividades agrícolas e de mineração*. Ouro Preto/MG. 195p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, UFOP.
- BONDURANT, D. C. ; LIVESEY, R.H. (1973). *Reservoirs sedimentations studies*. In ACKERMANN, W. C. et. al., ed. *Man-made lakes: Their problems and environmental effects*. Washington, D. C. American Geophysical Union. p. 364-367.
- BOSTRÖM, B. (1988). *Exchange of phosphorus across the sediment – water interface*. Hydrobiologia, v.170, p.229-244.
- BRUNE, G. M. ; ALLEM, R. E. (1941). *Consideration of factors influencing reservoir sedimentation in the Ohio Valley Region*. Am. Geophys. Union Trans. p. 649-655.
- CALIJURI, M. C. (1999). *A comunidade fitoplanctônica em um reservatório tropical (Barra Bonita - SP)*. Tese (Livre - Docência). EESC - USP. São Carlos.
- CALIJURI, M. C. ; DEBERT, G. L. B. ; MINOTI, R. (1999). *A produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Salto Grande (Americana - SP)*.
- CALIJURI, M. L. & ROHM, S. (1994). *Sistemas de Informações Geográficas*, UFV, Imp. Univ., 35p., Viçosa. MG.
- CALIJURI, M. L. (1996). *Aplicação de sistemas de informações geográficas na geotecnia ambiental*. Universidade Federal de Viçosa, 98p.

- CALIJURI, M. L.; LORENTZ, L.; MEIR, A. (1997). *Treinamento em sistema de informação geográfica*. Núcleo Sigeo; Universidade Federal de Viçosa.
- CALIJURI, M. L. (2000). *Treinamento em informações geográficas*. Núcleo Sigeo; UFV- Universidade Federal de Viçosa, 156p.
- CÂMARA, G. (1998). *Mapas e suas representações computacionais*. In : ASSAD & SANO. *Sistemas de informações geográficas aplicadas à agricultura - 2º edição, rev. e ampl. -* Brasília: EMBRAPA - SPI/EMBRAPA - CPAC, 434p.
- CAMPOS, L. F. G.(1943). *Mapa Florestal do Brasil. Boletim Geográfico*. v.1, n.9, p.9-27.
- CARLSON, R.E. (1977). *A trophic state index for lakes*. *Limnol. And Oceanogr.* V.22, n.2, p.361-369.
- CARPENTER, R. A. (1983). *Natural systems for development: what planners need to know?* New York, Mc. Millan ed., 483p.
- CARVALHO, N. (1994). *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro, CPRM, 372p.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1981). *Geomorfologia fluvial*. Edgard Blücher, São Paulo, 313 p.
- CLARK UNIVERSITY (1997). *IDRISI for Windows, user's guide*. Worcester, M. A. Clark University.
- COWEN, D.J. (1988). *GIS versus CAD versus DBMS: What are the differences*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, n. 54, p. 1551-1554.
- COELHO, M. P. (1993). *Análise do processo de assoreamento do reservatório de Americana/SP. Rio Claro*. 69 p.; Dissertação (Mestrado) – UNESP.
- Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) (1987). *Diagnóstico limnológico do reservatório de Volta Grande*. Belo Horizonte. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais.86p.
- DILLON, P. J.; KICHNER, W. B. (1975). *The effects of geology and land use on the export of phosphorus from watersheds*. *Water Res.*, v.9, p.135-148.
- DUNNE, T. & BLACK, R. D. (1970). *Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed*. *Wat. Resour. Res.*, vol. 6, p.1296-1311.
- EASTMAN, J. R. (1997). *IDRISI for windows v. 2.0 user's guide*. Worcester, Clark University.
- EASTMAN, J. R.; JIANG, H.; TOLEDANO, J. (1998). *Multicriteria and Multiobjective decision Making for Land Allocation Using GIS*. In Beinat, E.; Nijkamp, P. (Eds), *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 227-251.
- EASTMAN, J. R. (1999). *Guide to GIS and Image Processing. Idrisi32. vol.1* . Clark University. Worcester, MA. USA.

- EASTMAN, J. R. (1999). *Guide to GIS and Image Processing. Idrisi32. vol.2*. Clark University. Worcester, MA. USA.
- EMBRAPA (1981). *Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro*. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos/EMBRAPA. Escala 1 : 5.000.000.
- EMBRAPA (1999). *Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. São Paulo*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Instituto Agrônômico de Campinas (IAC). Escala 1:500.000.
- EPAMIG (1980). *Mapa de Reconhecimento de Solos do Triângulo Mineiro*. Belo Horizonte. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Escala 1 : 500.000.
- ESTEVES, F. A. (1988). *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência/ FINEP.
- EVANS, R. D. (1994). *Empirical evidence of the importance of sediment resuspension in lakes*. Hydrobiologia, v. 284, p.5-12.
- FALÓTICO, M. H.B. (1993). *Características limnológicas e aspectos da composição e distribuição da comunidade zooplancônica em sua fase de enchimento (reservatório de Samuel /Rondônia)*. São Carlos. 195p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- FURNAS, M. J. (1992). *The behavior of nutrients in tropical aquatic ecosystems*. In: CONNELL, D. W. & HAWKER, D. W., Eds. *Pollution in tropical aquatic systems*. CRC Press, Inc., London, 252 p.
- GIAROLA, N.F.B.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CHAGAS, C. S.; FERREIRA, M. M. (1997). *Solos da região sob a influência do reservatório da hidrelétrica de Itutinga/Camargos (MG): perspectiva ambiental; convênio CEMIG/UFLA/FAEP*. Lavras: UFLA, 101p.
- GLYMPH, L. M. (1973). *Sedimentation of reservoirs*. In : ACKERMANN, W. C. et. al., ed. *Man-made lakes: Their problems and environmental effects*. Washington, D. C. American Geophysical Union. p. 342-348.
- GOLFARY, L. (1975). *Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento*. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado. 65p.
- GOLTERMAN, H. L., CLYMO, R. S. & OHNSTAO, M. A. M. (1978). *Methods for physical and chemical analysis of fresh water*. 2nd. ed. – IBP. Handbook nº 8. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 213 p.
- GOODLAND, R. A. ; FERRI, M. G. (1979). *Ecologia do cerrado*. Belo Horizonte, Itatiaia, 193p.

- GRAF, W. H. (1993). *The hydraulics of reservoir sedimentation*. Water Power & Dam Construction. p. 45.
- GUSTARD, A. & WESSEINK, A. J. (1993). *Impact of land-use change on water resources: Balquhider catchments*. Journal of Hydrology, vol. 145, n. 389-401.
- HAKANSON, L. ; JANSSON, M. (1983). *Principles of lake sedimentology*. Spriger-Verlag.
- HASENACK, H. ; WEBER, E. (1998). *Análise de alternativas do traçado de um gasoduto utilizando rotinas de apoio à decisão em SIG*. Porto Alegre - RS - Brasil.
- HENRY, R. (1993). *Primary production by phytoplankton and its controlling factors in Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil)*. Rev. Brasil. Biol., V53, p.489-99.
- HENRY, R ; GOUVEIA, L. (1994). *Os fluxos de nutrientes séston em curso de água do alto Paranapanema (São Paulo) - sua relação com usos do solo e morfologia das bacias de drenagem*. An. Acad. Bras.Ci., v65, p.439-51.
- HENRY, R. ; MARICATO, F. E. (1996). *Sedimentation rates of tripton in Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil)*. Limnologica, v. 26. n. 1, p. 15-25.
- HILTON, J. et al. (1986). *The dominant processes of sediment ditribution and focusing in a small, eutrophic, monomitic lake*. Limnol. Oceanogr., v. 31, n. 1, p.125-133.
- IBGE . Ministério do Planejamento e Coordenação Geral (1972). *Cartas do Brasil: Miguelópolis (SP), folha SF-22-X-B-III-2, escala 1:50.000; Igarapava (SP), folha SF-23-V-A-I-1, escala 1:50:000;Veríssimo(MG), folha SE-22-Z-C-VI escala 1:100.000; Uberaba (MG), folha SE-23-Y-C-IV, escala 1:100.000*.Rio de Janeiro.
- IEF – Instituto Estadual de Florestas / MG (1994). *Mapa de cobertura vegetal e uso do solo: Uberaba (MG), folha SE-23-Y-C-IV escala 1:100.000; Veríssimo (MG), folha SE-23-Y-C-VI, escala 1:100.000; Guaira (SP), folha SF-22-X-B-III, escala 1:100.000*. Belo Horizonte.
- INPE (1999). *Imagem de satélite Landsat TM5 (bandas 3 4 5, órbita 220, ponto 70) de 27/abril/1999*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos.
- LAGE-FILHO, A. L. (1996). *Características ecológicas e limnológicas da bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, no período de menores precipitações (Poços de Caldas, MG)*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 192 p.
- LEITE, M. A. (1998). *Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação do reservatório de Salto Grande (Americana – SP) e sua influência sobre as*

- características limnológicas do sistema*. São Carlos. 167p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP.
- LOMBARDI NETO, F. ; BERTONI, J. (1975). *Erodibilidade dos solos paulistas*. Campinas, Instituto Agrônômico, 1975. 12p. (Boletim técnico, 27).
- MAIER, M. H. (1983). *Geoecologia, hidrografia, hidroquímica, clima e processos antrópicos da bacia do rio Jacaré Pepira (SP)*. Tese (Doutorado) – Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, 305 p.
- MALCZEWSKI, J. (1999). *GIS and Multicriteria decision analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- MARGALEF, R. (1983). *Limnología. Ediciones Omega, Barcelona*. 1010p.
- MARICATO, F. E. (1994). *Caracterização físico-química e sedimentação nas regiões de desembocadura dos rios Paranapanema e Taquari, e no reservatório de Jurumirim (Alto Paranapanema – SP)*. São Carlos. 205p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- MARQUISÁ, G. C. (1998). *Sedimentação e fluxo vetical de nutrientes em dois reservatórios de distintos estados tróficos (reservatórios do Broa e Barra Bonita - SP)*. São Carlos. 151p. Tese(Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP.
- MELO, A.L.O. (2001). *Avaliação e seleção de áreas para implantação de aterro sanitário utilizando lógica fuzzy e análise multi-critério: uma proposta metodológica. Aplicação ao município de Cachoeiro de Itapimirim – ES*. Viçosa.186p. Dissertação (Mestrado), UFV.
- NOVO, E. M. L. M.; LEITE, F. (1994). *O sistema de informações geográficas da reservatório da UHE Barra Bonita*. São José dos Campos. INPE. evlyn@itid.inpe.br.
- OLIVEIRA, J. B. (1999). *Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico*. Campinas. Instituto Agrônômico-IAC. Boletim Técnico Científico n.45. 112p.
- OLIVEIRA, J. B.; BERG, M. Van Den.(1985). *Aptidão agrícola das terras do estado de São Paulo: Quadricola de Araras.*. Memorial Descritivo. Campinas, Instituto Agrônômico– IAC, (Boletim Técnico Científico n.11, 102p.).
- PARAGUASSÚ, A. B. *et.al.* (1998). *Considerações sobre o assoreamento no reservatório Alvaro S. Lima (Bariri)*. In : TUNDISI, J. G. (ed.) *Limnologia e Manejo de Represas*, vol. 1, Séries Monografias em Limnologia EESC/SP/CRHEA.
- PIÃO, A. C. S. (1995). *Transporte de nitrogênio, fósforo e sedimentos pelo Ribeirão dos Carrapatos (Município de Itai – SP), sua relação com usos do solo e outros impactos*

- antropogênicos e sua deposição no braço do Taquari (represa de Jurumirim)*. São Carlos. 192p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos-USP.
- PORCALOVA, P. (1989). *Sedimentation in the Rimov Reservoir*. Arch. Hydrobiol. Beih., v.33, p. 349-353.
- RAMOS, R. A. R. (2000). *Localização industrial: um modelo para o noroeste de Portugal*. Tese (Doutorado). Braga: Universidade do Minho.
- RANIERI, S.B.L. (1998). *Aplicação de índice comparativo na avaliação do risco de degradação das terras*. Rev.Bras. Ci. Solo, v.22, p.751-760.
- RAO, K. S. et al. (1989). *Sedimentation studies on Gandhisagar Reservoir*. Hydrobiologia, v. 74, p. 439-444.
- REIS, J. C. (1995). *Proposição metodológica para estudo e mensuração do processo de assoreamento de reservatórios, utilizando sistema de informações geográficas*. Viçosa. 119p. Dissertação (Mestrado) – UFV.
- RIBEIRO, A. R., (1996). *Fuzzy multiple attribute decision making: a review and new preference elicitation techniques*. Fuzzy sets and systems. v.78. p.155-181.
- RIOS, L. (1993). *Estudo limnológico e fatores ecológicos em ribeirões e córregos da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão (Estado de São Paulo)*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 146 p.
- RIZZINI, C. T. (1963). *A flora do cerrado, análise florística das savanas centrais*. In: Simpósio sobre Cerrado, 1969, São Paulo. Anais. São Paulo: EDUSP, p.125-277.
- SAATY, T. (1977). *A scaling method for priorities in hierarchical structures*. Journal of Mathematical Psychology, 15, p.234-281.
- SAATY, T. L. (1980). *The analogic hierarchy process*. New York: MacGraw - Hill.
- SANO, S. M. ; ALMEIDA, S. P. (1998). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina: EMBRAPA - CPAC. 556p.
- SILVA, J.R.C. (1993). *Estudo da mudança de uso da terra através de um sistema de análise georreferenciada*. Rev. Bras. Ci. Solo, v.17, p.451-457.
- SILVEIRA, J.R.; ZERLOTINI, A.; CASTRO, P. M. (1997). *Controle de processos erosivos no reservatório da UHE-Volta Grande*. Departamento de Programa e Ações Ambientais, CEMIG. Belo Horizonte.
- SOUZA, S. P. (1995). *Proposta metodológica para estimativa de assoreamento de reservatórios: estudo de caso do sistema Manso*; Viçosa, 147p. Dissertação (Mestrado), UFV.
- TEIXEIRA, C. et al. (1965). *Plankton studies in a mangrove, II: The standing-stock and some ecological factros*. Bol. Inst. Oceanogr., v.24, p23-41.

- TRINDADE, M. (1980). *Nutrientes em sedimentos da represa do Lobo (Brotas – Itirapina, SP)*. Dissertação (Mestrado). Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 219 p.
- TUNDISI, J. G. (1988). *Impactos Ecológicos da Construção de Represas: Aspectos Específicos e problemas de Manejo*. In: TUNDISI, J.G. (ed.). *Limnologia e Manejo de Represas*, vol. 1, tomo I (série monografias em Limnologia) EESC/SP/CRHEA/ACIESP p. 01-75.
- TUNDISI, J. G. & STRASKRABA, M. (1995). *Strategies for building partnerships in the context of river basin management: the role fo ecotechnology and ecological engineering*. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, vol. 1, p.31-38.
- VIEIRA, L.S.; SANTOS,P.C.T.C; VIEIRA,M.N.F (1988). *Solos: propriedades, classificação e manejo*. Brasília, MEC/ABEAS. 154p. (Programa Agricultura nos Trópicos).
- VOOGD, H., (1983). *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. Pion Ltd. London, UK (in RAMOS , 2001).
- WETZEL, R.G. ; LIKENS, G.E. (1991). *Limnological analisys*. 2ª ed. New York, Springer Verlag. 391p.
- YAGER, R.R. (1988). *On oredered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making*. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernietics*. Vol. 8 (1). p. 183-190.
- ZADEH,L. A. (1965). *Fuzzi Sets*. *Information and Control*, v. 6, p.338-353.