UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE ESPAÇO
TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA E
QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DE BARRA
BONITA, SP, COMO SUPORTE À GESTÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS**

RACHEL BARDY PRADO

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 Engenharia, Área de concentração Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^a Dr^a. **Evlyn Márcia Leão De Moraes Novo**

São Carlos

2004

Dedico ao meu esposo Márcio pelo amor incondicional.

*Dedico aos meus avós Artur e Maria,
Amador (in memorian) e Nina, aos
meus pais Eudamir e Nilda,
aos meus irmãos Rúbia, Gustavo e
Guilherme e aos
meus sobrinhos Fellipe e Gabriel pelo
carinho.*

*É com muita admiração e
respeito que ofereço à minha
orientadora e amiga Evlyn, profissional
incomparável pela dedicação,
competência e ética e um ser humano
maravilhoso, de coração imenso.*

AGRADECIMENTOS

À Dra. Evlyn Novo pela orientação efetiva, confiança e aprendizado.

À Fapesp, órgão financiador, por ter reconhecido a importância desta pesquisa de doutorado - processo nº 00/02682-1.

Ao SERE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela infraestrutura e apoio técnico relacionado à aplicação das geotecnologias (chefias, pesquisadores, funcionários, secretárias e alunos de pós-graduação), em especial ao Cláudio Barbosa, Mantovani e Madalena Niero (auxílio nos trabalhos de campo), ao Cláudio Barbosa, Eymar Pinheiro, Júlio D'Alge, Camilo Rennó e Brenner Silva (por terem sanado tantas dúvidas) ao Eduardo Camargo (auxílio na geoestatística) e ao Eduardo Pinheiro pelo auxílio na delimitação da bacia e sub-bacias de estudo.

Ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada pela infraestrutura cedida para as análises laboratoriais das amostras de água em nome do prof. Dr. Evaldo Gaeta Espíndola que teve papel fundamental nesta pesquisa, destacando ainda a colaboração dos técnicos Marcelo Nogueira, Amândio Nogueira, Valdomiro Filho e dos alunos de pós-graduação Érica Argenton, Alessandro Minilo e Domingos Barbosa.

Ao DEBE - Universidade Federal de São Carlos em nome da profa. Dra. Odete Rocha pela infraestrutura cedida para as coletas das amostras de água em campo, destacando a colaboração dos técnicos José Valdecir de Lucca, Airton dos Santos e Luiz.

Aos órgãos fornecedores de dados: INPE (imagens dos satélites Landsat 5 e 7), IPT (Mapa geológico do Estado de São Paulo), IAC (Mapa pedológico do Estado de São Paulo), DAEE Piracicaba (dados de precipitação da bacia de estudo).

Aos profissionais que auxiliaram na ponderação dos temas: pedologia (MSc. Rodrigo Demonte - Embrapa Solos - RJ), geomorfologia (MSc. Marcelo Dantas - CPRM - RJ) e geologia (MSc. Kátia Mansur - DRM - RJ).

Ao Chefe de P&D da Embrapa Solos, Dr. Aluísio Granato e ao estagiário Bruno Almeida, cujo apoio na fase de finalização da tese foi de extrema importância.

Às minhas companheiras de república Celina, Andréia, Luciana (São Carlos) e Cíntia (São José dos Campos) e às dicas limnológicas da amiga e profa. Ana Lúcia.

À todos os amigos que contribuíram direta e indiretamente para esta pesquisa me proporcionando alegrias, seja em São Carlos, em São José dos Campos e no Rio de Janeiro, em especial à amiga Tatiana Walter.

Aos amigos distantes e à minha família, o meu perdão pela ausência nos últimos tempos. Saibam que sempre estiveram presentes em mim.

Ao Márcio pela paciência e compreensão.

À Deus, por ter me iluminado nos momentos mais difíceis e por ter me privilegiado por compartilhar da experiência profissional e de vida de tantas pessoas especiais, aprendizado ímpar, ao longo desta pesquisa.

... “O rio nasce, sempre numa região elevada. Pode ser no alto de uma montanha. Em sua infância, é leve e irrequieto, como qualquer criança ou animal novo: corre, salta, ora atirando-se de grandes alturas, ora cascadeando ruidosamente por entre os seixos, ora descansando, ofegante, em seu leito de areia branca e brilhante. Seu aspecto é sadio e límpido, irradiando pureza; seu corpo é fresco como o orvalho da manhã; sua cor é o puro azul do céu refletido. Seu alimento é o que lhe proporciona o seio fértil da Terra-mãe.

Depois cresce. Suas águas se avolumam. Torna-se majestoso e tranqüilo. Viaja. Percorre grandes planícies, profundos vales, circunda montanhas, salta perigosos penhascos. Conhece o homem. Avizinha-se de suas cidades, trabalha para ele – move seus engenhos, transporta suas embarcações, dessedenta-lhe os rebanhos e as plantações, oferece-lhe seus peixes e prova o sabor amargo de sua ingratidão.

A princípio, sente-se beneficiado e recompensado pelo auxílio prestado. O homem represa-o, sofrendo seu ímpeto juvenil, domesticando-o e oferecendo-lhe amplos leitões para seu repouso. Além disso, ao irrigar as plantações, recebe pequenas parcelas dos mesmos alimentos empregados na lavoura para dar viço às plantas. Sente-se fortalecido; suas células reproduzem intensamente, captando as energias que o sol proporciona prodigamente às suas águas tranqüilas e cristalinas e produzem alimento farto e oxigênio abundante aos seus peixes. De repente, porém, sente-se traído. As águas que ele, de forma tão benigna, oferecia ao homem para saciar-lhe a sede, são-lhe devolvidas carregadas de imundícies. Alimento, sim, mas impregnado de tantas substâncias estranhas e bactérias nocivas que lhe é difícil digerir. Além disso, em tão grande quantidade que a maior parte permanece indigesta, formando um lodo escuro e fétido, em seu leito, ou em fina suspensão, em suas águas, impedindo a penetração benéfica dos raios de sol e soterrando pequenos e indefesos animais.

E não é só isso. Ao passarem suas águas pelo interior das indústrias tornam-se veículos de toda a sorte de tóxicos, detritos, graxas, sabões, tintas e outros muitos compostos que conspurcam totalmente aquilo que fora outrora seu maior motivo de orgulho: sua espelhada superfície azul. Ao sair da cidade ele sofreu uma total transformação. Suas águas tornaram-se negras e fétidas. Seu leito é sujo e lodoso. Sua superfície é coberta dos mais variados tipos de corpos flutuantes: uma camada de óleo impede seu crispar de prazer ao roçar acariciante da brisa; espessas crostas de espuma acumulam-se em suas curvas, outrora graciosas; borbulhas de gases mefíticos, desprendidos de seu leito, explodem à superfície, formando pequenos círculos concêntricos na água negra e pesada; latas velhas, papéis e toda uma enorme variedade de imundícies são transportados juntamente com a multidão dos cadáveres de seus peixes asfixiados, envenenados, destruídos pela insalubridade do ambiente.

E o rio, em sua plena juventude, sente essa asfixia. Sente o envenenamento. E morre...”

SAMUEL MURGEL BRANCO
Poluição: a morte de nossos rios

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1.0 INTRODUÇÃO	1
2.0 OBJETIVOS	4
3.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
3.1 Fatores relacionados à degradação da água, com destaque para os reservatórios	6
3.1.1 Processo de eutrofização	8
3.1.2 Interferência do uso e cobertura da terra na qualidade da água	9
3.1.3 Variabilidade espacial e temporal das propriedades limnológicas	11
3.1.3.1 Fósforo (Ptotal, PID e PTD)	11
3.1.3.2 Nitrogênio (Ntotal, NO ₂ , NO ₃ , NH ₄)	12
3.1.3.3 Transparência da água (Profundidade do Disco de Secchi)	12
3.1.3.4 Condutividade elétrica	12
3.1.3.5 Oxigênio dissolvido (OD)	13
3.1.3.6 Temperatura	13
3.1.3.7 Potencial Hidrogeniônico (pH)	14
3.1.3.8 Materiais sólidos em suspensão (orgânicos, inorgânicos e totais)	14
3.1.3.9 Clorofila a total	15
3.1.3.10 Silicato Reativo	15
3.2 Monitoramento de qualidade da água, com destaque para os reservatórios	15
3.3 Planejamento e gestão integrada de recursos hídricos, com destaque para os reservatórios	19
3.4 Caracterização das Geotecnologias aplicadas no presente estudo	23
3.4.1 Sensoriamento Remoto	23
3.4.1.1 Definição e alguns cuidados na obtenção das imagens	23
3.4.1.2 Processamento digital de imagens orbitais	24
3.4.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	27
3.4.3 Análise Espacial de Dados (Geoestatística)	28
3.4.4 Sistemas de suporte à decisão	29
4.0 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32

5.0 MATERIAIS E MÉTODOS	39
5.1 Obtenção e tratamento de dados	39
5.1.1 Delimitação da bacia hidrográfica e sub-bacias para a área de estudo	41
5.1.2 Dados limnológicos	42
5.1.2.1 Obtenção dos dados limnológicos na literatura e montagem do Banco de Dados	42
5.1.2.2 Aquisição de dados limnológicos in situ e análise laboratorial	43
5.1.2.3 Análise espaço-temporal dos dados limnológicos	47
5.1.3 Dados de sensoriamento remoto	50
5.1.3.1 Aquisição de amostras de treinamento e teste para classificação digital do uso e cobertura da terra	50
5.1.3.2 Pré-processamento de imagens de satélite	50
5.1.3.2.1 Correção atmosférica	51
5.1.3.2.2 Registro e equalização de imagens	51
5.1.3.2.3 Mosaico de imagens	51
5.1.3.2.4 Seleção de bandas a serem utilizadas no processamento de imagens	51
5.1.3.3 Processamento de imagens de satélites	52
5.1.3.3.1 Segmentação	52
5.1.3.3.2 Classificação	53
5.1.3.3.3 Mapeamento	53
5.1.4 Dados cartográficos	53
5.1.4.1 Dados referentes à drenagem da área de estudo	53
5.1.4.1.1 Obtenção do mapa de densidade de drenagem para as sub-bacias da área de estudo	54
5.1.4.1.2 Obtenção do mapa de distâncias das sub-bacias ao reservatório de Barra Bonita	54
5.1.4.2 Dados referentes à pedologia da área de estudo	55
5.1.4.3 Dados referentes à geologia da área de estudo	56
5.1.4.4 Dados referentes à geomorfologia da área de estudo	56
5.1.4.5 Dados referentes à divisão municipal da área de estudo	57
5.1.5 Dados pluviométricos e fluviométricos	57
5.1.5.1 Obtenção, organização e análise dos dados pluviométricos	57
5.1.5.2 Cálculo do coeficiente de variação de pluviosidade (CVP) de 1990	57
5.1.5.3 Interpolação dos dados pluviométricos	59
5.1.5.4 Tratamento dos dados fluviométricos	59
5.1.6 Dados censitários (populacionais e agrícolas)	60
5.1.7 Dinâmica do uso e cobertura da terra	60
5.1.8 Ponderação e álgebra de mapas	60
6.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
6.1 Condicionadores fisiográficos da bacia hidrográfica de estudo	67
6.1.1 Mapa da bacia e sub-bacias de estudo	67
6.1.2 Mapa da rede de drenagem da bacia estudada	68

6.1.3 Mapa pedológico da bacia estudada	70
6.1.4 Mapa geológico da bacia estudada	71
6.1.5 Mapa geomorfológico da bacia estudada	73
6.1.6 Coeficiente de variação de pluviosidade da área estudada	75
6.1.7 Vazões naturais do reservatório de Barra Bonita	80
6.2 Uso e cobertura: mudanças no espaço e no tempo na bacia hidrográfica de estudo	82
6.2.1 Resultados intermediários do processamento de imagens de satélite (1990 e 2002)	82
6.2.2 Mapas de uso e cobertura da terra 1990 e 2002	86
6.2.3 Produtividade agrícola de 1990 a 2002 como indicativo da dinâmica do uso e cobertura da terra	90
6.2.4 Identificação de fontes de poluição da água nas proximidades do reservatório de Barra Bonita	93
6.3 Modelagem do potencial poluidor: ponderação e integração de fatores fisiográficos e antrópicos da bacia hidrográfica de estudo	100
6.3.1 Resultado da ponderação das classes para cada tema	100
6.3.2 Resultado da ponderação e integração dos temas e análise do potencial poluidor das sub-bacias	111
6.4 Análise espaço temporal dos parâmetros de qualidade da água em resposta às atividades antrópicas do entorno do reservatório de Barra Bonita e de seus principais afluentes	118
6.4.1 Análise temporal do processo de degradação da água (1979 a 2002)	118
6.4.2 Análise dos parâmetros de qualidade da água e sua relação com as características fisiográficas e uso e cobertura da bacia de contribuição (1990 e 2002)	125
6.4.3 Análise temporal dos parâmetros de qualidade de água em diferentes profundidades	139
6.5 Relação do estado trófico do reservatório de Barra Bonita com o potencial poluidor da bacia hidrográfica de estudo, devido às alterações antrópicas de 1990 à 2002	145
6.5.1 Crescimento populacional e aumento da carga de nitrogênio e fósforo como fontes de poluição pontual	145
6.5.2 Incremento no potencial poluidor difuso das sub-bacias estudadas em função da dinâmica do uso e cobertura da terra	146
6.5.3 Índice de Estado Trófico (IET)	148
6.5.4 Comparação das concentrações de alguns parâmetros de qualidade da água analisados com os limites estabelecidos pelo CONAMA 20	152
7.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	155
8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158

ANEXOS

ANEXO 1: Coeficiente de Variação de Pluviosidade (CVP) anual nos postos de monitoramento do DAEE pertencentes à bacia estudada, no período de 1990 a 2000

ANEXO 2 - Vazões médias mensais do reservatório de Barra Bonita, vazões médias por estação do ano, desvio padrão, M+SD e M-SD, de 1979 a 2002

ANEXO 3: Área plantada de cultura permanente e temporária (hectare), 1990 a 2002

ANEXO ENVELOPE: Mapas de uso e cobertura da terra 1990 e 2002 e Banco de Dados Limnológicos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relações entre os agentes e fatores envolvidos no gerenciamento de recursos hídricos	21
Figura 2: Localização das hidrelétricas do Estado de São Paulo, destacando a Usina Hidrelétrica de Barra Bonita	32
Figura 3: Visão panorâmica da barragem e eclusa de Barra Bonita (produção de energia elétrica)	33
Figura 4: Estrutura do Hotel Barra Bonita às margens do reservatório (turismo)	33
Figura 5: Cargueiro que transporta cana-de-açúcar e soja, entre outros produtos, por meio da Hidrovia Tietê-Paraná (transporte fluvial)	33
Figura 6: Localização da bacia hidrográfica em estudo, destacando o Reservatório de Barra Bonita e os rios Piracicaba e Tietê	35
Figura 7: Usos preponderantes da água nas bacias do Estado de São Paulo com destaque para as BHTS e BHPCJ	37
Figura 8: Fluxograma do resumo da metodologia aplicada	40
Figura 9: Localização dos pontos de amostragens de água em 1990 (Projeto SISA) e 2002 (presente estudo) no reservatório de Barra Bonita – SP e Imagem ETM+ Landsat 7, 2002 (verão)	45
Figura 10: Valores médios de níveis digitais das classes de uso da terra com seus desvios padrões, para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7	52
Figura 11: Bacia e sub-bacias da área de estudo na escala 1:1.800.000	68
Figura 12: Mapa da rede de drenagem da bacia estudada na escala 1:1.800.000	69
Figura 13: Mapa pedológico da bacia estudada na escala 1:1.800.000	70
Figura 14: Mapa geológico da bacia estudada na escala 1:1.800.000	72
Figura 15: Mapa geomorfológico da bacia estudada na escala 1:1.800.000	74
Figuras 16 e 17: Média do Coeficiente de Variação de pluviosidade decadal (1990-2002) e de 1990	76
Figura 18: Médias das médias mensais de pluviosidade dos postos de monitoramento do DAEE para os anos de 1990 a 2002, estando 1990 em destaque	76
Figura 19: Comparação das médias das médias mensais de pluviosidade dos postos de monitoramento do DAEE para os anos de 1990 e 2002	77
Figuras 20 e 21: Grade e imagem gerados a partir da krigeagem e imagem da variância do erro	80
Figuras 22 e 23: Médias das vazões naturais, dos meses das estações seca e chuvosa, respectivamente, do reservatório de Barra Bonita	81
Figuras 24 e 25: Mosaicos obtidos do pré-processamento das imagens de 1990 e 2002 (estação chuvosa), respectivamente	83
Figuras 26 e 27: Solo exposto e solo coberto pela palhada no cultivo da cana-de-açúcar, respectivamente..	84
Figuras 28 e 29: Resultado da segmentação das imagens de 1990 e 2002 (estação chuvosa), respectivamente, para um trecho da área de estudo	84
Figuras 30 (esquerda acima), 31 (direita acima) e 32 (direita abaixo): Área plantada de culturas permanentes e temporárias, área plantada de culturas temporárias e área plantada de culturas permanentes, respectivamente	91

Figura 33: Mapa da localização dos pontos visitados no trabalho de verificação terrestre na bacia, apresentando a malha municipal e a drenagem principal	94
Figura 34: Exploração de areia às margens do reservatório de Barra Bonita	95
Figura 35: Área degradada devido à mineração	95
Figura 36: Processo erosivo com início de voçorocamento, em áreas de pastagens degradadas	96
Figura 37: Processo erosivo com início de desmoronamento das margens do reservatório, em áreas de pastagens	96
Figura 38: Desmatamento nas margens do Horto de Camacua (Rio Claro)	97
Figura 39: Solo exposto no plantio da cana-de-açúcar, às margens do reservatório de Barra Bonita	97
Figura 40: Canais para o transporte da vinhaça das usinas sucro-alcooleiras até os canaviais	98
Figura 41: Condomínio com casas de veraneio instalado às margens do reservatório e proximidade do mesmo de cidades	99
Figura 42: Banco de macrófitas aquáticas no reservatório de Barra Bonita (“braço” Piracicaba)	99
Figura 43: Uso e cobertura da terra - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5	107
Figura 44: Densidade de drenagem - Mapa das médias zonais das sub-bacias com a drenagem sobreposta e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5	107
Figura 45: Distância das sub-bacias ao reservatório - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5	108
Figura 46: Pedologia - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5	108
Figura 47: Geologia - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5	109
Figura 48: Geomorfologia - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5	109
Figura 49: Coeficiente de variação de pluviosidade - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5	110
Figura 50: CENÁRIO 1 - Mapa do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita – Integração por Média Simples. Escala 1:1.500.000	112
Figura 51: CENÁRIO 2 - Mapa do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita – Integração por Média Ponderada. Escala 1:1.500.000	113
Figura 52: CENÁRIO 3 - Mapa do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita – Integração por Soma Ponderada (Uso-P3). Escala 1:1.500.000	114
Figura 53 e 54: CENÁRIO 4 E 5 - Mapas do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita – Integração por Soma Ponderada (Uso-P4) e Integração por Soma Ponderada (Uso-P5). Escala 1:1.500.000	115
Figura 55: CENÁRIO 6 - Mapa do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita – Integração por Soma Ponderada (Uso-P7). Escala 1:1.500.000	116
Figura 56: Linha de tendência para o parâmetro condutividade elétrica.	119
Figuras 57: Linha de tendência para o parâmetro clorofila a total.	120

Figuras 58 e 59: Condutividade elétrica ao longo do tempo, nas estações seca e chuvosa, por compartimento, respectivamente.....	121
Figuras 60, 61, 62 e 63: Nitrito e íon amônio ao longo do tempo, nas estações seca e chuvosa, por compartimento	122
Figuras 64 e 65: Fósforo total ao longo do tempo, nas estações seca e chuvosa, por compartimento, respectivamente	123
Figuras 66 e 67: Clorofila <i>a</i> total ao longo do tempo, nas estações seca e chuvosa, por compartimento, respectivamente	125
Figura 68: Transparência, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens	126
Figuras 69, 70 e 71: Nitrito, nitrato e íon amônio, respectivamente, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens	127
Figura 72: Nitrogênio total, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens	128
Figuras 73, 74 e 75: PID, PTD e P total, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens, respectivamente.....	131
Figura 76: Clorofila <i>a</i> total, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens	133
Figuras 77, 78 e 79: Material em suspensão orgânico, inorgânico e total, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens, respectivamente	135
Figura 80: Silicato reativo, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens	137
Figura 81: Diferentes regiões homogêneas ao longo do reservatório de Barra Bonita obtidas por imagem do sensor ETM+ do Landsat 7 em 2001, destacando os pontos que foram amostrados em profundidade	140
Figuras 82, 83 e 84: pH, Condutividade elétrica e oxigênio dissolvido no ponto 30 (barragem) em diferentes profundidades, estações seca e chuvosa, respectivamente, ao longo o tempo	141
Figuras 85 e 86: Potencial poluidor das sub-bacias estudadas no que se refere ao uso e cobertura da terra em 1990 e 2002, respectivamente	147
Figuras 87 e 88: Mapas do estado trófico dos pontos de amostragens no reservatório de Barra Bonita, em 1990 e 2002, na estação chuvosa	150

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros adotados em monitoramentos de qualidade da água com as diferentes finalidades ..	16
Tabela 2: Características morfológicas e hidráulicas do reservatório de Barra Bonita	34
Tabela 3: Coordenadas geográficas dos pontos de amostragens de água	44
Tabela 4: Metodologias adotadas nas análises dos parâmetros limnológicos em laboratório	47
Tabela 5: Características das imagens de satélite utilizadas no presente trabalho	51
Tabela 6: Áreas das classes pedológicas para a bacia estudada	71
Tabela 7: Áreas de cada classe geológica para a bacia estudada	73
Tabela 8: Áreas das classes geomorfológicas para a bacia estudada	75
Tabela 9: Estatística descritiva da distribuição dos pontos na área de estudo	78
Tabela 10: Resultados numéricos da análise da variabilidade espacial por semivariograma	78
Tabela 11: Parâmetros do modelo de semivariograma aplicado	79
Tabela 12: Estatística do erro	79
Tabela 13: Estatística de erros da classificação supervisionada	85
Tabela 14: Áreas das classes de uso e cobertura da terra para os anos de 1990 e 2002	86
Tabela 15: Estatística para as culturas temporárias e permanentes	91
Tabela 16: Ponderação das classes de uso e cobertura da terra quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita	101
Tabela 17: Ponderação dos intervalos de densidade de drenagem quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita	102
Tabela 18: Ponderação dos intervalos de distância ao reservatório quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita	102
Tabela 19: Ponderação das classes de solos quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita, de acordo com suas características	103
Tabela 20: Ponderação das classes de geologia quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita	104
Tabela 21: Ponderação das classes de relevo quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita	105
Tabela 22: Ponderação dos intervalos do coeficiente de variação de pluviosidade quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita	106
Tabela 23: Ponderação dos temas nos diferentes cenários	112
Tabela 24: Áreas das classes dos níveis de contribuição das sub-bacias para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita	112
Tabela 25: Médias de pH nas diversas profundidades para os anos analisados	142
Tabela 26: Médias de condutividade elétrica nas diversas profundidades para os anos analisados	143
Tabela 27: Médias de oxigênio dissolvido nas diversas profundidades para os anos analisados	143
Tabela 28: Crescimento populacional de 1990 para 2002 na área de estudo	146
Tabela 29: Carga de nitrogênio e fósforo produzidos na bacia estudada	146

Tabela 30: Área das classes de potencial poluidor das sub-bacias com relação ao uso e cobertura da terra	148
Tabela 31: Resultado da aplicação do Índice de Estado Trófico	149
Tabela 32: Comparação dos valores dos parâmetros analisados neste estudo com os limites estabelecidos pela Proposta de atualização do CONAMA 20 para a Classe 2	154

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AES: The Global Power Company	IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ANA: Agência Nacional de Águas	ISOSEG: Classificador de imagens segmentadas
APA: Área de Proteção Ambiental	LEGAL: Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra
ARIE: Área de Relevante Interesse Ecológico	M: Média
Arcview/ESRI: GIS/Environmental Systems Research Institute	M+SD: Média mais Desvio Padrão
B: Compartimento Barragem	MCDA: Multicriteria Decision Aid
BHPCJ: Bacia Hidrográfica do Piracicaba/Capivari/Jundiaí	MNT: Modelo Numérico de Terreno
BHTS: Bacia Hidrográfica Tietê/Sorocaba	M-SD: Média menos Desvio Padrão
C: Compartimento Corpo Central	MSI: Material em Suspensão Inorgânico
CBERS: China-Brazil Earth Resources Satellite	MSO: Material em Suspensão Orgânico
CESP: Companhia Elétrica do Estado de São Paulo	MST: Material em Suspensão Total
CNPS: Centro Nacional de Pesquisas em Solos	ND: Nível Digital
COGERH: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará	NH ₄ : Amônio
CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente	NO ₂ : Nitrito
CPRM: Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais	NO ₃ : Nitrato
CRHEA: Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada	Ntotal/NT: Nitrogênio total
CVP: Coeficiente de Variação de Pluviosidade	OD: Oxigênio Dissolvido
CWA: Clima Mesotérmico	ONS: Operador Nacional do Sistema Elétrico
DAEE: Departamento de Água e Esgoto	PAM: Produtividade Agrícola Municipal
DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio	pH: Potencial Hidrogeniônico
DEBE: Departamento de Botânica e Ecologia	PI: Plano de Informação
DRM: Departamento de Recursos Minerais	PID: Fósforo Inorgânico Dissolvido
E: Compartimento Encontro	PLANALSUCAR: Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar
EESC: Escola de Engenharia de São Carlos	PNRH: Política Nacional de Recursos Hídricos
ENVI: Environment for Visualizing Images	PRO-ÁLCOOL: Programa Nacional do Alcool
ESEC: Estação Ecológica	PTD: Fósforo Total Dissolvido
ETE: Estações de Tratamento de Esgoto	Ptotal/PT: Fósforo total
ETM+: Enhanced Thematic Mapper Plus	RPPN: Reserva Particular do Patrimônio Natural
FLONA: Floresta Nacional	SAD69: South American Datum 1969
IAC: Instituto Agrônomo de Campinas	SD: Desvio Padrão
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	SEADE: Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
ICWE: International Conference on Water and the Environment	SIDRA: Sistema IBGE de Recuperação Automática
IET: Índice de Estado Trófico	SIG: Sistema de Informação Geográfica
INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	SIGRH: Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos
	SIMA: Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental
	SiO ₂ : Silicato reativo

SISA: Sensoriamento Remoto de Sistemas
Aquáticos

SPRING: Sistema para Processamento de
Informações Georreferenciadas

SWAT: Soil and Water Assessment Tool

TM: Thematic Mapper