

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
Graduação em Engenharia Ambiental
Trabalho de Graduação**

**Avaliação do Uso de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica
(SIG) Aplicado ao Monitoramento da Dispersão de Macrófitas Aquáticas e do Aporte
de Sedimentos no Reservatório de Barra Bonita (SP)**

**São Carlos – SP
2010**

PÉTALA BIANCHI AUGUSTO SILVA

**Avaliação do Uso de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica
(SIG) Aplicado ao Monitoramento da Dispersão de Macrófitas Aquáticas e do Aporte
de Sedimentos no Reservatório de Barra Bonita (SP)**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho

São Carlos – SP

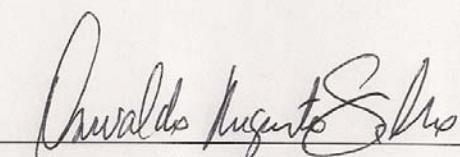
2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO DE DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA DESDE QUE CITADA A FONTE.

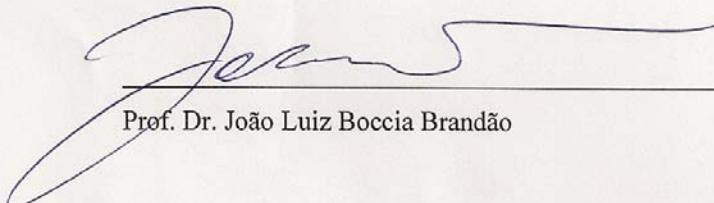
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Pétala Bianchi Augusto Silva

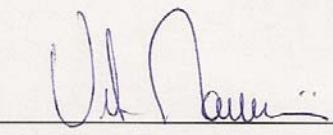
Monografia defendida e aprovada em: 09/11/2010 pela Comissão Julgadora:



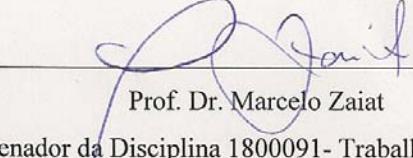
Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho



Prof. Dr. João Luiz Boccia Brandão



Prof. Dr. Victor Eduardo Lima Ranieri



Prof. Dr. Marcelo Zaiat
Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

Dedico este trabalho aos meus pais, Carlos e
Vanderci, e aos meus tios, Neusa e José
Roberto, que tanto fizeram, fazem e farão
ainda por mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente aos meus pais, Carlos e Vanderci, que me proveram da base necessária para adentrar e me manter nesta universidade, base não apenas financeira, mas estrutural como um todo.

Agradeço ao meu chefe, Rodrigo Borsari, que me proporcionou o contato com a área de atuação que hoje sei que quero seguir, me guiando no desenvolvimento deste e de outros diversos estudos.

Agradeço ao meu orientador, Oswaldo Augusto Filho, que esteve sempre à minha disposição e foi para mim a melhor definição do professor orientador que deve existir. Agradeço por ter atendido com prontidão ao meu pedido de orientação na realização deste estudo e por ter acreditado no meu trabalho.

Agradeço a todo departamento de Geotecnia por terem me adotado nesse período.

Agradeço ao Marcio e à Ana Gabriela pelo auxílio técnico provido.

E, por fim, agradeço aos amigos Francisco, Simon, Marcos, Mariana, Ana Gabriela, Illa, Joyce, Guilherme, Vinícius, Juliana, Vilibaldo e Arthur pelo socorro emocional nas horas dificeis e pelo resto do convívio juntos.

“Esta é a terra-de-ninguém, sei que devo resistir,
eu quero a espada em minhas mãos.

Eu sou metal, raio, relâmpago e trovão.
Eu sou metal, eu sou o ouro em seu brasão.
Eu sou metal, me sabe o sopro do dragão.

Não me entrego sem lutar tenho, ainda, coração.
Não aprendi a me render, que caia o inimigo então.

[...]

E nossa história não estará pelo avesso assim, sem final feliz,
teremos coisas bonitas pra contar.

E até lá, vamos viver, temos muito ainda por fazer.
Não olhe pra trás, apenas começamos.
O mundo começa agora, apenas começamos.”

(Metal Contra as Nuvens – Legião Urbana)

RESUMO

Os reservatórios são caracterizados por apresentarem gradiente espacial de carga de sedimentos e nutrientes ao longo do seu corpo. Este quesito, agregado ao tamanho dos reservatórios brasileiros, onera e torna lento o monitoramento das propriedades da água. As dimensões dos espelhos d'água, na maioria dos reservatórios, inviabiliza programas de monitoramento da qualidade da água baseados em ensaios diretos, face os altos custos da implementação de um esquema de amostragem adequado. Nesse sentido, o sensoriamento remoto orbital, aliado às técnicas de geoprocessamento, contribui de forma decisiva com processo de alocação dos pontos de amostragem, partindo do mapeamento da distribuição espacial de dois importantes indicadores da qualidade da água: as macrófitas aquáticas e o aporte de sedimentos. É neste contexto que reside o trabalho em questão visando contribuir para o aprofundamento das técnicas de geoprocessamento aplicadas ao monitoramento ambiental da qualidade da água em reservatórios hidrelétricos. O método a ser aplicado para este fim foi apresentado no volume 20 da revista Planta Daninha por Galo *et al* e intitula-se: *Uso do sensoriamento Remoto Orbital no Monitoramento da Dispersão de Macrófitas nos Reservatórios do Complexo Tietê*. Aplicou-se o método previamente citado ao reservatório de Barra Bonita, interior do estado de São Paulo, em duas épocas distintas do ano, período chuvoso e período seco. A partir dos mapas gerados foi possível reconhecer duas sub-bacias com características diversas que contribuem com os indicadores e assim estudá-las com mais detalhe, efetuando estudos sobre a região abrangida por elas elaborando os diversos mapas de interesse ao estudo e, por fim, cruzando as informações anteriores do modo a se obter um diagnóstico para a localidade.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informação Geográfica, Reservatório de Barra Bonita, Monitoramento da Qualidade da Água.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	JUSTIFICATIVA	3
3.	OBJETIVOS	4
3.1.	Objetivo Geral	4
3.2.	Objetivos Específicos	4
4.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ESTUDOS ANTERIORES.....	4
4.1.	Reservatórios Hidrelétricos	4
4.2.	Indicadores de Qualidade da Água	5
4.2.1	Dispersão de Macrófitas	6
4.2.2	Assoreamento em Reservatórios	8
4.3.	Monitoramento da Qualidade da Água	11
4.4.	Cartografia Temática, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica	13
4.5.	Mapa de Declividade	17
4.6.	Mapa Pedológico	18
4.7.	Mapa de Uso e Cobertura	19
5.	ÁREA EM ESTUDO: O RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA	20
6.	MÉTODO.....	22
6.1.	Mapeamento da Dispersão de Macrófitas e do Aporte de Sedimentos.....	23
6.2.	Escolha das Sub-Bacias Piloto e Elaboração dos Mapas Demais Temáticos	28
7.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
7.1.	Mapas da Dispersão de Macrófitas e do Aporte de Sedimentos	29
7.2.	Características Gerais da Área do Reservatório.....	33
7.2.1	Biomias Originais	33
7.2.2	Características Geológicas e Relevo	36
7.2.3	Tipos de Solo	41
7.3.	Discussão Acerca das Características Levantadas	44
7.4.	Características das Bacias Piloto	47
7.4.1	Declividade	50
7.4.2	Vegetação	51

7.5.	Diagnóstico do Reservatório de Barra Bonita	52
8.	CONCLUSÃO	54
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
10.	APÊNDICES.....	62
	APÊNDICE I: Mapa de Declividade das Bacias. Barra Bonita (SP).....	63
	APÊNDICE II: Mapa de Vegetação das Bacias. Barra Bonita (SP).....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Os Referenciais da Abordagem do Assoreamento pela Geologia de Engenharia: Geologia como Base Científica; Problemas Ambientais como Desafios da Engenharia. Baseado em Oliveira (1995, p. 63).....	10
Figura 2: Exemplo de Composição RGB já Segmentada. Regiões Circuladas Representam Bancos de Macrófitas. Reservatório Funil (Ubatã - BA)	17
Figura 3: Barragem de Barra Bonita (Fonte: AES Tietê).....	20
Figura 4: Localização do Reservatório. (PRADO E NOVO, 2005).....	21
Figura 5: Plano de Ação Seguido.	23
Figura 6: Mapa da Composição R5G4B3 do Reservatório de Barra Bonita.....	25
Figura 7: Fluxograma Representativo do Método Seguido para Mapeamento dos Indicadores	27
Figura 8: Mapa da Distribuição Espacial de Macrófitas e do Aporte de Sedimentos, Reservatório de Barra Bonita, Período Seco.	30
Figura 9: Mapa da Distribuição Espacial de Macrófitas e do Aporte de Sedimentos, Reservatório de Barra Bonita, Período Chuvoso.....	31
Figura 10: Esquema da Sub-Área de Análise.....	32
Figura 11: Mapa dos Biomas Originais da Região do Reservatório de Barra Bonita (SP)..	34
Figura 12: Mapa das Características Geológicas da Região do Reservatório de Barra Bonita (SP).	37
Figura 13: Mapa do Relevo da Região do Reservatório de Barra Bonita (SP)	39
Figura 14: Mapa Pedológico da Região do Reservatório de Barra Bonita (SP).....	42
Figura 15: Mapa do Potencial Agrícola da Região do Reservatório de Barra Bonita (SP)..	46

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Área das Bacias Piloto.....	48
Tabela 2: Perímetro das Bacias Piloto.....	48
Tabela 3: Sumarização dos Parâmetros Analisados	49
Tabela 4: Dados Referentes aos Diferentes Tipos de Cobertura Levantados nos Mapas. ...	52

Tabela 5: Quadro Comparativo entre as Características Predominantes das Sub-Bacias Piloto.....	53
--	----

1. INTRODUÇÃO

A Lei Federal nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997, conhecida como Política Nacional de Recursos Hídricos pretende “(...) assegurar uma gestão sistemática dos recursos hídricos, sem a dissociação dos aspectos quantidade e qualidade, e o uso racional e integrado destes recursos (...).” (LOPES & SANTOS, 2002, p. 3). Dentro deste contexto, sendo a água um recurso natural limitado e dotado de valor econômico, ressalta-se aqui que os reservatórios são considerados fator de integração entre os usos múltiplos das águas numa dada região, sendo seu manejo estratégico atrelado não só ao bom funcionamento da geração de energia, mas de todos os usos em seu entorno.

Com o intuito de assegurar a boa qualidade da água, requerida para a manutenção do recurso hídrico com seus usos intrínsecos, o monitoramento ambiental torna-se uma prática necessária e rotineira de modo a direcionar as ações a serem tomadas.

Sabendo-se que os reservatórios hidrelétricos caracterizam-se por apresentarem gradiente espacial de carga de sedimentos ao longo do seu corpo, o que, aliado ao tamanho dos seus espelhos d’água, torna o monitoramento das propriedades da água baseado em investigação direta extremamente caro e demorado, face à dificuldade em se implantar um sistema de amostragem apropriado, o uso do sensoriamento remoto constitui-se em uma fonte auxiliar de dados para uma melhor e mais eficiente alocação dos pontos de amostragem da qualidade da água visto que, na água, a maior parte do fluxo radiante incidente não é refletida, mas sim absorvida ou transmitida.

Corroborando a este fim, os mapas sempre representaram uma forma útil para armazenar informações, conceber idéias, analisar conceitos, prever acontecimentos e tomar decisões a respeito de dados espaciais que ocupam uma determinada posição geográfica. Neste contexto, dois são os principais indicadores de qualidade de água que podem ser mapeados por meio de imagens de satélite: o aporte de sedimentos e a dispersão de macrófitas aquáticas.

Segundo Galo *et al* (2002), os fatores que afetam a variabilidade espectral na reflectância de um corpo d’água são, geralmente, determinados pelo ambiente. Os três fatores mais importantes são: profundidade do corpo d’água, presença de materiais em suspensão e rugosidade do espelho d’água.

Para este projeto foram utilizadas imagens orbitais de sensoriamento remoto, para verificar a presença tanto de macrófitas aquáticas, quanto de sedimentos em suspensão em duas épocas distintas do ano.

Sabendo que a qualidade da água em um corpo d'água decorre das condições da paisagem do seu entorno, essas técnicas, baseadas em SIG (Sistemas de Informação Geográfica), tornam-se ferramentas de apoio para o monitoramento ambiental de reservatórios, permitindo a percepção de um quadro maior de desequilíbrio do ecossistema regional, qualificando-se como o primeiro passo em direção à detecção dos aspectos ambientais responsáveis por esse cenário.

Após essa visão geral é possível fazer uma análise mais focada nas bacias dos afluentes contribuintes de modo a identificar os fatores deflagradores do quadro de desequilíbrio levantado. Para testar esse fato duas sub-bacias piloto com características distintas foram selecionadas e mapeadas. As informações levantadas a partir desse estudo proporcionaram a possibilidade da extensão desse estudo para as outras sub-bacias contribuintes de modo a se obter um prognóstico geral para o reservatório.

Este estudo como um todo foi bastante relevante à formação da autora como Engenheira do Meio Ambiente, pois proporcionou o estudo e aplicação dos conceitos de diversas áreas como Hidrologia, Recursos Hídricos, Aproveitamentos Hidrelétricos, Ecologia, Ecossistemas Aquáticos bem como elencá-los através do uso dos Sistemas de Informação Geográfica.

Os conceitos de Técnicas de Representação em Engenharia Ambiental puderam ser aplicados bem como aqueles de Geologia e Solos, dentre muitos outros, em especial os voltados para Bacias Hidrográficas como unidades de planejamento.

Cabe elucidar nesse momento que, ao longo deste texto, a designação genérica utilizada para os produtos cartográficos gerados pela pesquisa foi sempre a de mapa. “Os termos mapa e carta referem-se aos documentos cartográficos que reúnem as informações pertinentes a um ou mais aspectos do meio ambiente (meio físico, meio biótico e meio antrópico) e que são utilizados pelos usuários para as mais diversas finalidades.” (ZUQUETTE e NAKAZAWA, 1998, p. 283). Alguns autores fazem a distinção entre o

emprego os termos mapa e carta dependendo das características do produto cartográfico (ZUQUETTE e GANDOLFI, 2004). Quando citado do trabalho de terceiros utilizou-se o termo originalmente empregado pelos autores (carta ou mapa).

2. JUSTIFICATIVA

A realização desta pesquisa fundamentou-se na já provada utilidade do Sensoriamento Remoto para o monitoramento de indicadores de qualidade da água, é necessário, agora, o alinhamento desta técnica aos dados regionais de declividade, pedologia e uso e cobertura do solo, visando integrar os dados técnicos aos usos múltiplos dos reservatórios, elucidar acerca dos motivadores da dispersão de macrófitas aquáticas e do aporte de sedimentos, tendo em vista o potencial de erosão e de aporte de sedimentos das sub-bacias contribuintes.

O curso de Engenharia Ambiental se mostra como grande aliado nessa busca de integração de conceitos. Para um Engenheiro do Ambiente é valiosa essa visão interconectada dos diversos fatores intervenientes no processo de dispersão de plantas aquáticas além daqueles deflagradores do assoreamento. As abordagens geomorfológica, pedológica, hidrológica e ecológica, direcionadas às medidas de engenharia, são grandes aliadas da prevenção, correção e monitoramento dos problemas advindos de barramentos de cursos d'água.

É nessa temática multidisciplinar, aliando as grandes áreas da ecologia, geologia, hidrologia e cartografia, que se justifica este trabalho no campo da Engenharia Ambiental.

Por fim, o presente trabalho se enquadra no contexto do auxílio na alocação adequada de pontos de amostragem da qualidade da água visto que, com o método a ser elucidado pode-se perceber de claramente os pontos críticos aos indicadores da qualidade da água a serem mapeados, os sedimentos em suspensão e as macrófitas.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Avaliar a utilidade de imagens orbitais para a identificação de áreas de infestação de macrófitas aquáticas e aporte de sedimentos em reservatórios e também a contribuição de alguns possíveis deflagradores de processos de degradação para estes indicadores.

3.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho proposto são explicitados a seguir:

- Utilizar a distribuição espacial de macrófitas aquáticas e o aporte de sedimentos como indicadores ambientais na análise de reservatórios hidrelétricos;
- Aplicar os tais indicadores em duas épocas distintas do ano: período chuvoso e período seco;
- Contrastar os resultados dos mapas produzidos com os usos e coberturas presentes nas sub-bacias escolhidas;
- Elaborar um diagnóstico geral para a área estudada.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ESTUDOS ANTERIORES

Nesta seção encontra-se uma síntese da base teórica envolvida na realização deste trabalho, bem como uma análise de estudos anteriores que seguiram a mesma linha de investigação.

4.1. Reservatórios Hidrelétricos

Os reservatórios hidrelétricos são formados pela construção de barramentos nos cursos d'água. Segundo Lopes & Santos (2002), essas obras de engenharia têm por finalidade acumular parte das águas disponíveis nos períodos chuvosos para compensar as deficiências nos períodos de estiagem, exercendo um efeito regularizador da vazão natural.

Os autores citados neste trecho deixam de levar em conta as usinas que funcionam a fio d'água, ou seja, sem reservatório de acumulação, não exercendo função regulatória da vazão. Entretanto, o reservatório enfocado neste estudo, é um reservatório que tem como uma de suas finalidades a ação regularizadora da vazão natural.

É desejável que os reservatórios englobem diferentes usos que não apenas a geração de energia. Por esta razão estes são tratados dentro de um contexto de integração dos usos múltiplos dentre os quais se pode citar: a própria geração de energia, o controle de cheias, a navegação, a piscicultura, a captação de água, o lazer e etc.

Lopes & Santos (2002, p. 5) destacam que “os reservatórios funcionam como grandes bacias de detenção de sedimentos, pois propiciam condições favoráveis à sedimentação do material sólido transportado devido à diminuição da velocidade das águas.” Dessa forma, o barramento proporciona uma perda de carga no escoamento que, com isso faz com que a maior parte das partículas carreadas por ele seja depositada.

Assim, nota-se que o barramento de um corpo d'água gera mudanças no regime de fluxos deste, já que um sistema que era lótico (águas com velocidade alta) torna-se lêntico (águas com velocidade lenta), o que altera as características de vazão sólida e líquida, acarretando mudanças bruscas no ecossistema envolvido, aumentando o processo de assoreamento com a retenção da vazão sólida.

Dessa forma, a partir do barramento do curso d'água, um gradiente espacial de carga de sedimentos e nutrientes é gerado ao longo do corpo do reservatório alterando as características físicas e químicas da água.

4.2. Indicadores de Qualidade da Água

Vários são os fatores que levam à deterioração da qualidade da água, podendo ser classificados em fontes pontuais e difusas. As fontes pontuais se caracterizam, essencialmente, pelos efluentes domésticos e industriais, já as difusas são caracterizadas pelos resíduos provindos da agricultura (fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas, entre outros) (PRADO & NOVO, 2005).

Este tipo de poluição, a difusa, pode ser intensificado devido à interferência antrópica no ambiente através da irrigação, da compactação do solo, da mecanização, da retirada da cobertura vegetal original, da ausência de práticas conservacionistas do solo que

minimizem os processos erosivos, além da interferência das características naturais da própria bacia hidrográfica como a geologia, a geomorfologia, a declividade do terreno, a pedologia, o formato da bacia, as características da drenagem, o regime de chuvas entre outros. (PRADO & NOVO, 2005).

Uma forma de se perceber um quadro de desequilíbrio, quadro este fruto de todas essas características em conjunto, é se embasar em indicadores da qualidade, ou seja, alvos que podem ser medidos e identificados de forma relativamente fácil e que tem significado específico sugerindo condições gerais apresentadas pelos sistemas analisados.

Dois indicadores da qualidade da água são enfocados no presente estudo e são elucidados nas seções que se seguem.

4.2.1 Dispersão de Macrófitas

Segundo Noernberg (1996), as macrófitas aquáticas são classificadas dentro do reino vegetal como herbáceas especializadas. São herbáceas porque não possuem madeira e denominam-se especializadas porque estão adaptadas a viver dentro da água ou em solos saturados por ela.

Chama-se de ambiente alagadiço aquela área onde a água é o substrato. Nela a água pode ocorrer em superfície ou sub-superfície, seja de forma contínua ou intermitente. São nesses ambientes que se desenvolvem as macrófitas aquáticas, podendo ocorrer enraizadas (presas ao solo saturado), emersas ou submersas; ou como macrófitas flutuantes, também emersas ou submersas (GRACIANI, 2002).

A dispersão de macrófitas aquáticas se insere na problemática estudada tendo em vista que vários são os problemas decorrentes do seu desenvolvimento excessivo após a interferência antrópica em um ecossistema. Os principais problemas estão associados à redução da biodiversidade, prejuízos aos esportes náuticos, entupimento de tubulações e canais de irrigação e também prejuízos à produção de energia em usinas hidrelétricas, causando a deterioração de turbinas e entupimento da tomada d'água, dentre outros.

Segundo Thomaz (2002, p. 23) “como resultado direto do assoreamento, que reduz a profundidade de regiões marginais, extensos bancos de macrófitas podem se desenvolver nestes ecossistemas [reservatórios hidrelétricos]” estando este quesito, em grande parte,

associado aos componentes arrastados conjuntamente aos sedimentos (como fertilizantes, agrotóxicos, entre outros) ricos em nutrientes; condição necessária ao *boom* dessas plantas.

Grandes reservatórios d'água artificiais causam introdução de um novo modelo energético e alterações no ciclo hidrológico e na geomorfologia fluvial, mas também sofrem impactos, já que são sistemas projetados pelo homem para funcionar dentro de determinados padrões pré-estabelecidos. A eutrofização é um exemplo de desvio nesses padrões sendo a dispersão excessiva de macrófitas um indicador dessa condição.

A visão integrada de recursos da terra e da água, incluindo considerações de impactos simultâneos em reservatórios e as entradas de nutrientes pode ser uma forma adequada de encaminhamento do problema.

Em concordância com Velini *et al* (2002, p. 2) “a distribuição das plantas aquáticas não é uniforme em todo corpo d’água de cada reservatório. A presença de plantas marginais e flutuantes normalmente está associada ao processo de sedimentação que ocorre nas áreas de ingresso de tributários em reservatórios.”

Para Porto, (1991, p. 20) “como resultado da decomposição da matéria vegetal, formam-se compostos de nitrogênio e fósforo em concentrações relativamente elevadas, que estimulam a proliferação de plantas aquáticas.”

Na opinião de Müller (1995), a excessiva proliferação de comunidades de macrófitas em reservatórios pode produzir:

- Alteração da qualidade da água pela geração de elevadas concentrações de matéria orgânica, que produz processos aeróbios diminuindo consideravelmente a concentração de oxigênio dissolvido (O_2), essencial para a vida aquática. Na ausência de O_2 , iniciam-se os processos anaeróbios que produzem gases corrosivos e a diminuição do pH da água, o que pode ocasionar problemas no sistema de geração de energia da represa;
- Obstrução das tomadas de água reduzindo a capacidade de geração de energia;
- Aumento na retenção de sedimentos provocando um incremento do assoreamento, o seja, diminuindo a vida útil da represa. Isso ocorre visto que, a presença dessas plantas marginais leva à perda de carga do

escoamento, reduzindo a sua velocidade, o que faz com que as partículas sólidas se depositem mais rapidamente;

- Aumento das populações de insetos e moluscos que podem ocasionar graves problemas de saúde aos habitantes das vilas e povoados vizinhos;
- Embora as comunidades de macrófitas contribuam à criação de nichos adequados para reprodução e abrigo de peixes, aves e répteis, sua excessiva expansão, principalmente na foz dos cursos tributários, produz uma forte retenção de nutrientes que deveriam se misturar homogeneousmente por todo o reservatório. Isso repercute negativamente na qualidade da água, podendo trazer alterações na cadeia trófica do ecossistema aquático, ocasionando a diminuição das comunidades de peixes com consequentes perdas econômicas para a atividade pesqueira local.

4.2.2 Assoreamento em Reservatórios

São substanciais as mudanças provocadas pelo barramento de um curso d'água para transformá-lo em um reservatório. O antigo habitat lótico, agora lêntico, sofre com as correntes de densidade que ocorrem dentro dele, podendo carrear sedimentos que se depositam em áreas que, em outros tempos, eram varridas pelo escoamento do rio.

O assoreamento de um reservatório, ou seja, seu entulhamento progressivo pelos sedimentos transportados pelo rio pode ser um problema de pequena a moderada significância em regiões de condições geológicas, climáticas e de uso da terra favoráveis, mas que podem atingir intensidade e características críticas em áreas desfavoráveis e em reservatórios pequenos em relação às bacias de contribuição. O fenômeno depende de fatores como clima, cobertura vegetal, declividade das encostas e uso da terra. (MARQUES FILHO e GERALDO, 1998).

Segundo Porto (1991, p. 53), “altas concentrações de sólidos em suspensão são danosas aos peixes, afetam os organismos bentônicos, reduzem a passagem de luz solar e desequilibram as cadeias tróficas.” Assim é de relevância biológica, além de operacional, o estudo do aporte de sedimentos aos reservatórios.

Com a construção dos reservatórios, ocorre também um aumento da capacidade de armazenamento de materiais orgânicos e inorgânicos provenientes das diversas bacias de captação, sejam originários de fontes pontuais ou difusas, intensificando o processo de eutrofização (PRADO & NOVO, 2005) por carrear, conjuntamente aos sedimentos, nutrientes provenientes desta poluição difusa, os quais intensificam processos de dispersão de macrófitas.

De um ponto de vista prático, o assoreamento corresponde a diversos problemas como a perda do volume do reservatório e a redução da profundidade dos canais. Estes quesitos trazem reflexos importantes para a eficiência de obras hidráulicas e para a produção de cheias mais freqüentes e intensas além de reter poluentes nos depósitos, característica que pode influir na vida aquática.

Considerando a problemática de forma mais ampla, o assoreamento corresponde a um “quadro de desequilíbrio ambiental de vários caracteres: geomorfológico, porque o assoreamento faz parte de um conjunto de processos de modelagem do relevo; pedológico, porque o assoreamento responde à erosão que acompanha importantes transformações dos solos, tanto física quanto quimicamente; e também hidrológico, porque todos os processos respondem a alterações significativas do componente hídrico dos terrenos, especialmente a relação entre as taxas de escoamento superficial e infiltração. Por este prisma, portanto, o assoreamento constitui aspecto de um problema maior que pode ser designado como degradação dos recursos naturais (solos e águas), provocada por formas inadequadas de uso do solo urbano ou rural (...)" (OLIVEIRA, 1995, p. 59).

Oliveira (1995) versa sobre a importância da caracterização da dinâmica superficial de uma bacia hidrográfica e do comportamento dos canais de drenagem como etapa essencial para a elaboração de modelos de assoreamento mais realistas, auxiliando na avaliação e interpretação dos dados sedimentológicos disponíveis e, na falta destes, permitindo caracterizar, ao menos qualitativamente, a produção de sedimentos de uma bacia hidrográfica.

Para esta caracterização qualitativa, o método abordado neste trabalho, utilizando-se de imagens orbitais, permite uma visão da condição geral do aporte de sedimentos o que, pelo caráter sinóptico e repetitivo das imagens de satélite, auxiliam na constituição de um sistema de contínua ou, ao menos, freqüente observação.

Para uma visão quantitativa “(...) o engenheiro fundamenta-se no conhecimento do aporte sólido e sua relação com as vazões que afluem ao reservatório; na capacidade do reservatório em relação à vazão afluente; e na sua eficiência de retenção.” (OLIVEIRA, 1995, p. 60). As cargas sólidas que atingem o reservatório são estimadas por medidas de sólidos em suspensão enquanto que as cargas de fundo são deduzidas através de fórmulas que as relacionam às cargas em suspensão. Determinado o aporte de sólidos, é possível calcular o volume assoreado para um período de interesse e, assim, estimar a vida útil do reservatório. Esta visão quantitativa do problema foi objetivada neste trabalho.

É neste conhecimento das características de uma bacia hidrográfica, especialmente de sua dinâmica atual ante o uso e cobertura do solo, que se coloca a perspectiva de aplicação da Geologia de Engenharia sobre problemas do assoreamento. Na Figura 1 pode-se visualizar a abordagem do assoreamento pela Geologia de Engenharia.

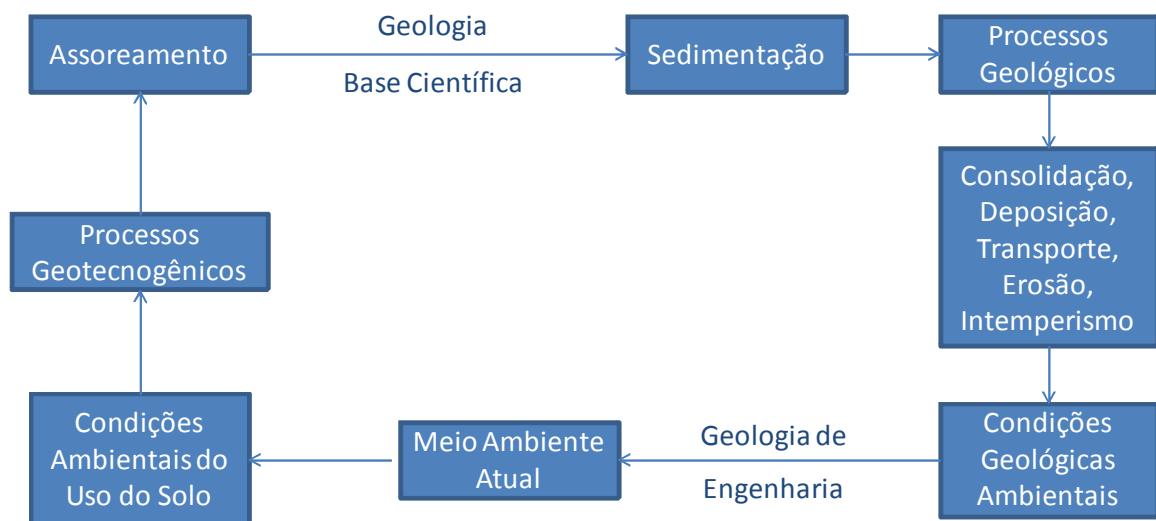


Figura 1: Os Referenciais da Abordagem do Assoreamento pela Geologia de Engenharia: Geologia como Base Científica; Problemas Ambientais como Desafios da Engenharia. Baseado em Oliveira (1995, p. 63)

A erosão é o ponto de partida do assoreamento sob ação determinante do uso e cobertura do solo. “O uso do solo interfere através do tipo de manejo e da implantação de obras que provocam a concentração do escoamento e favorecem a erosão e o transporte de sedimentos.” (OLIVEIRA, 1995, p. 65).

Não sendo o processo de produção de sedimentos contínuo, mas sim comandado pelas condições de uso do solo impostas pelo homem e também pelas chuvas, sobretudo as

mais intensas (responsáveis pelo transporte de maior parte dos sedimentos produzidos por uma bacia), fatores deflagradores e condicionantes como a cobertura do solo, o uso dado a este, o tipo de solo, o relevo da região, etc. são de interesse a um estudo focado no papel da contribuição de bacias ao reservatório como um todo.

A quantificação do assoreamento de reservatórios tem diversas limitações, entretanto, é possível, pelo menos, avançar na abordagem qualitativa e ampla do problema; é nesta temática que este estudo se insere, utilizando-se de uma abordagem que destaca sub-bacias e sua vulnerabilidade além do monitoramento das condições gerais de qualidade da água do reservatório como um todo através das técnicas do sensoriamento remoto embasadas em indicadores da qualidade da água.

4.3. Monitoramento da Qualidade da Água

Acerca da questão no monitoramento da qualidade da água Porto (1991, p. 391) versa que “o monitoramento quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos se constitui num poderoso instrumento que possibilita a avaliação da oferta hídrica, base para decisões do aproveitamento múltiplo e integrado da água, bem como para a minimização de impactos ao meio ambiente.”

A consideração básica na determinação das características de qualidade da água de determinado corpo hídrico é a obtenção de uma amostra ou série de amostras que represente o todo, o que seria simples para o caso ideal de um corpo d’água homogêneo e em movimento permanente. Todavia, essa assertiva não é adequada para a totalidade dos corpos hídricos e, ainda que tomada como uma aproximação da realidade, a maior parte continuaria fora desse padrão.

As técnicas de amostragem em campo, que geram informações apenas pontuais podem ser complementadas espacialmente e também auxiliadas através do uso do sensoriamento remoto.

Kampel e Novo (2008) defendem que os produtos obtidos por sensoriamento remoto devem ser vistos de maneira complementar aos dados adquiridos *in situ* em termos de cobertura espacial e temporal. Os dados orbitais fornecem uma visão sinóptica da distribuição espacial de uma forma praticamente inalcançável por outros meios, e são úteis

para cobrir uma ampla gama de escalas espaciais e temporais associadas a diversas aplicações costeiras, oceânicas e limnológicas.

Para Porto (1991, p. 392) “há uma tendência natural de sobrevalorização das técnicas laboratoriais de análise, investindo-se no desenvolvimento de métodos analíticos com níveis de detecção e precisão cada vez maiores, em detrimento das técnicas de amostragem que, por vezes, não são sequer merecedoras de pessoal de campo especializado. Não se pode esquecer, entretanto, que a confiabilidade de um programa de amostragem para a avaliação de um corpo d’água depende, fundamentalmente, da seleção criteriosa de locais para a coleta de amostra de a utilização correta das técnicas de coleta e preservação das mesmas. (...) Sem esta definição os programas podem ficar fadados a gerar dados sem qualquer significado e completamente distorcidos podendo, inclusive, conduzir a decisões errôneas.”

Sendo assim, o monitoramento direto da qualidade da água pode ser auxiliado em sobremaneira pelas técnicas de sensoriamento remoto, visto que estas podem prover um quadro geral da localidade auxiliando na identificação de pontos chave para obtenção de amostras.

O planejamento de um sistema de monitoramento da qualidade da água, ao buscar obter dados confiáveis e utilizáveis deve, após a decisão de quais dados são necessários e como serão usados, selecionar locais de amostragem com o objetivo de levantar as informações requeridas. (PORTO, 1991).

Porto (1991, p. 396) ressalta que “a conveniência e a praticabilidade na escolha de um local de amostragem são importantes, mas não mais do que a representatividade da amostra, a não ser que o local de amostragem tecnicamente adequado seja, de todo, inviável.” Estes são outros quesitos que podem ser facilmente identificados e sanados pelo uso das imagens orbitais, visto que o sensoriamento remoto pode prover informações onde o acesso é difícil ou perigoso.

O monitoramento, neste contexto, visa estabelecer um sistema de contínua ou, ao menos, freqüente observação e avaliação para propósitos definidos. Pode ser importante, ainda, o exame de condições passadas visando o estabelecimento de tendências, para entender o presente e permitir extrações genéricas e qualitativas a cenários futuros.

4.4. Cartografia Temática, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica

Os mapas representam uma forma útil para armazenar informações, conceber idéias, analisar conceitos, prever acontecimentos e tomar decisões a respeito de dados espaciais que ocupam uma determinada posição geográfica.

De acordo com as conclusões de Salichtchev (1988) a Cartografia é a “ciência que trata e investiga a distribuição espacial dos fenômenos naturais e culturais, suas relações e suas mudanças através do tempo, por meio da representação cartográfica”. Dentro deste contexto, define-se Cartografia Temática como parte da Cartografia que diz respeito ao planejamento, execução e impressão de mapas sobre um Fundo Básico, ao qual serão anexadas informações através de simbologia adequada, visando atender as necessidades de um público específico (DUARTE, 1999).

Sensoriamento remoto é definido como a ciência que obtém informações da superfície terrestre a partir de imagens obtidas à distância. A obtenção dessas informações geralmente depende da energia eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos de interesse. Sendo assim, é o conjunto de atividades relacionadas com a aquisição e a análise de dados de sensores remotos.

O sensoriamento remoto da água se baseia no fato de que os componentes nela presentes afetam sua cor, cujas mudanças são decorrentes de alterações na radiância da água, sendo esta variação registrada por sensores orbitais. (GALO *et al*, 2002).

A água representa uma mistura complexa de diversos materiais dissolvidos ou particulados os quais possuem propriedades ópticas diversas, ou seja, interagem com a luz de maneira diferente em função de sua concentração ou natureza. A presença destes componentes na coluna d'água é responsável por modificações em sua cor, pois eles absorvem ou espalham seletivamente a luz incidente. Este fato torna a cor da água uma fonte útil de informações sobre algumas propriedades químicas, físicas e biológicas de lagos, rios e oceanos. (KAMPEL & NOVO, 2008).

O sensoriamento remoto da cor da água é capaz de captar as diferentes respostas espectrais produzidas pela presença de alguns componentes no corpo d'água. Esta técnica é realizada com o uso de sensores passivos, ou seja, que operam durante o dia, sendo sua fonte de energia o próprio Sol.

A técnica do sensoriamento remoto envolve a análise de variações na magnitude e qualidade espectral da radiação emergente da água para derivar informações qualitativas e quantitativas sobre o tipo de substâncias presentes em seu volume e até mesmo suas concentrações. (KAMPEL & NOVO, 2008).

Segundo as conclusões de Galo *et al* (2002), devido ao seu caráter sinóptico e repetitivo, as imagens de satélite podem se constituir em um recurso auxiliar valioso no processo de alocar adequadamente pontos de amostragem no reservatório e mesmo de mapear a distribuição espacial de alguns componentes no corpo d'água.

Ao interagir com a superfície terrestre, dependendo das propriedades dessa superfície, a radiação eletromagnética pode sofrer absorção, reflexão e transmissão, sendo que os comprimentos de onda onde a radiação é refletida ou transmitida são aqueles utilizados na identificação dos alvos no sensoriamento remoto.

Na água a maior parte do fluxo radiante incidente não é refletida, mas sim absorvida ou transmitida. De acordo com Galo *et al* (2002), os fatores que afetam a variabilidade espectral da reflectância de um corpo d'água são, geralmente, determinados pelo ambiente, sendo que os três fatores mais importantes são: profundidade do corpo d'água, presença de materiais em suspensão e rugosidade do espelho d'água.

A partir do lançamento dos primeiros satélites ambientais foram iniciadas pesquisas com o objetivo de explorar a potencialidade de imagens multiespectrais para o estudo dos recursos naturais da Terra. Em 1984, com o lançamento do Landsat 5, com uma banda espectral na faixa do azul e resolução espacial de 30m, favoreceu o estudo de corpos d'água continentais e costeiros. (BRAGA *et al*, 1993).

Para Galo *et al* (2002) a aquisição de dados de sensoriamento remoto, com aplicação em recursos naturais pode ser feita por meio de sensores instalados em plataformas orbitais. Dentre os sistemas atualmente em operação, pode-se destacar o TM – *Thematic Mapper* (instalado a bordo dos satélites Landsat 4 e 5). O sistema previamente citado constitui-se “em um sensor imageador óptico multiespectral que coleta dados da superfície terrestre simultaneamente em sete bandas espetrais [...]” (GALO *et al*, p. 9) sendo que seis dessas bandas operam dentro da região refletida do espectro óptico tendo uma resolução espacial de 30 m (imagem composta por pixels quadrados de 30 m de lado cada um), e a sétima, uma banda termal com resolução de 120m.

Velini *et al* (2002, p. 4) concluiu que “as imagens Landsat, [...] apresentam grande utilidade para a orientação de levantamentos de flora e de qualidade de água e para a estimativa da área ocupada por plantas aquáticas.”

Já o geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. As ferramentas computacionais para geoprocessamento, chamadas de sistemas de informações geográficas (SIG), permitem realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes ao criar bancos de dados geográficos georreferenciados (INPE, 2004).

Os SIG facilitam análises técnicas e justificativas, agilizam o acesso aos dados, possibilitam a integração de diferentes interfaces, e melhoram a comunicação com a sociedade civil, com a imprensa, com organizações não governamentais, ao permitirem que os dados e resultados sejam visualizados e entendidos rapidamente (LIMA *et al.*, 2005)

O SIG é um sistema de gerenciamento de banco de dados, acoplado à facilidade de mapeamento temático, integrando simultaneamente as diversas representações das informações geográficas (LIPORACI, 1999). Estes aplicativos permitem que dados adquiridos de diferentes fontes sejam armazenados e atualizados em um sistema computacional onde as informações podem ser buscadas e apresentadas em uma larga gama de formas.

Esta ferramenta tem sido utilizada amplamente no apoio à gestão do ambiente. Os SIG aparecem como moderno instrumento para auxílio ao planejamento, controle e supervisão. Uma vez que entre as suas principais aptidões encontra-se a de simular e inter-relacionar eventos de natureza intrinsecamente espacial, esta moderna ferramenta permite a projeção de cenários para efeito de planejamento, bem como a modelagem de funções de correlação e integração de dados de monitoramento para efeito de controle, supervisão e obtenção de diagnósticos.

Para um planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos tomando-se como referência a bacia hidrográfica, é preciso que as áreas com maior potencial poluidor sejam identificadas a fim de que a intervenção possa ocorrer de forma mais direcionada. Neste sentido, para melhor obtenção das informações a respeito das características antrópicas e fisiográficas de uma determinada bacia, torna-se necessária a utilização de geotecnologias

como os SIG e o sensoriamento remoto (PRADO & NOVO, 2005), ferramentas capazes de prover e facilitar a análise espacial e dar suporte à decisão dos atores sociais.

Neste projeto foi utilizado o SPRING que é um SIG nacional e livre, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Para Galo *et al* (2002, p. 12) “o SPRING é um aplicativo de domínio público desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) que incorpora a funcionalidade de banco de dados no gerenciamento dos dados, além de recursos específicos para o processamento e análise de dados multiespectrais.”

Algumas ferramentas do SPRING foram essenciais no desenvolvimento deste estudo, uma delas foi a técnica do contraste, aplicada às imagens de satélite. Segundo Camara *et al* (1996), o contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano, aumentando a discriminação visual entre os objetos presentes na cena. Vale ressaltar aqui que um aumento de contraste não é capaz de revelar uma informação nova que não estivesse contida na imagem original, apenas apresentará a mesma informação dos dados brutos de uma forma mais clara. Esta etapa é, portanto, essencial para que seja possível uma interpretação eficiente da imagem falsa cor (composição RGB) gerada.

Outra técnica utilizada dentro do SPRING foi a Segmentação da imagem, que é um procedimento qualificado como a simplificação de uma dada imagem reduzindo-se as informações desta a regiões quase homogêneas. Segundo as conclusões de Von Wangenheim (2002), partes parecidas da imagem devem pertencer ao mesmo objeto e então unidas em uma única região. Inicia-se a segmentação considerando cada pixel como uma região, o que é repetido iterativamente, unindo-se regiões na mesma imagem até que se atinja um ponto de parada, que geralmente é baseado em algum critério de dessemelhança entre as regiões.

O método de crescimento de regiões, adotado neste trabalho para a Segmentação da composição RGB, consiste no “agrupamento de conjuntos de pixels (regiões) espacialmente adjacentes desenvolvido com base em um critério de similaridade espectral que verifica se a média entre duas regiões contíguas está condizente com um limiar pré-estabelecido.” (GALO *et al*, p. 13). A segmentação resulta por fim em uma imagem

dividida em regiões independentes sendo estas caracterizadas individualmente por uma qualidade que as representa (exemplo na Figura 2).



Figura 2: Exemplo de Composição RGB já Segmentada. Regiões Circuladas Representam Bancos de Macrofitas.
Reservatório Funil (Ubatã - BA)

O software Arcview, outro SIG utilizado neste trabalho, foi criado pela empresa americana ESRI (*Environmental Systems Research Institute, Inc.*) no início da década de 90. Este SIG é reconhecido por ser bastante didático e de fácil utilização. A versão utilizada foi a 3.2a, que hoje em dia é liberada para uso acadêmico.

Uma vez que o SIG é capaz de combinar grandes volumes de dados de uma ampla variedade de fontes, torna-se uma ferramenta útil para investigações de muitos aspectos da qualidade da água. Esta ferramenta pode ser utilizada para identificar e determinar a extensão espacial e as causas dos problemas de qualidade das águas.

4.5. Mapa de Declividade

O mapa de declividades tem sido considerado documento básico para o planejamento regional. Qualquer estudo que necessite do conhecimento prévio de detalhes do relevo deve ser reportado a este mapa que tem como objetivo representar a verdadeira utilização, bem como o melhor aproveitamento do terreno (DE BIASI, 1970) levando-se em conta o planejamento territorial. Para isso esta divide o terreno - a partir de sua

topografia - em faixas de declividade expressas em porcentagens ou graus de inclinação. Essas faixas são denominadas classes de declividade.

Esta carta isolada tem aplicações na legislação ambiental, em especial no planejamento urbano e na delimitação de áreas de preservação permanente e ainda em projetos de engenharia. Quando correlacionadas com informações como cobertura, uso, etc. suas possibilidades de aplicação são aumentadas.

4.6. Mapa Pedológico

A pedologia é considerada a ciência do solo abordando sua morfologia (cor, textura, estrutura, consistência, etc.) e sendo básica para o estabelecimento de um sistema de classificação deste. A pedosfera funciona como fundação ou alicerce da vida em ecossistemas terrestres.

Esta é o ramo da ciência que se dedica a estudar os solos considerando sua constituição, sua origem, sua morfologia, suas classificações e seus mapas, formando base para as indicações do seu melhor uso, dentro dos princípios de proteção ambiental. (LEPSCH, 2002)

Esta ciência “foi desenvolvida por agrônomos e tem como objeto de estudo a camada superficial do solo (...). Assim, de maneira simplificada, pode-se dizer que a pedologia define classes e categorias de solos dentro do grupo dos solos lateríticos, que são os solos superficiais.” (KERTZMAN & DINIZ, 1995, p. 24)

Segundo Kertzman & Diniz (1995, p. 24) “na pedologia os solos são divididos em grandes grupos identificados por características intrínsecas e por certos atributos, tais como: cor, granulometria, textura, estrutura, porosidade, etc.”

Sendo assim um mapa pedológico reporta os tipos de solo de uma dada região.

Para Lepsch (2002, p. 82) “os mapas de solos, ou levantamentos pedológicos, podem ser definidos como a aplicação sintética das informações pertinentes à formação e distribuição geográfica dos diferentes solos existentes em uma determinada localidade.”

As informações contidas nos “trabalhos pedológicos, quando devidamente interpretadas, podem fornecer importantes subsídios para a Geologia de Engenharia, destacando-se o uso do solo para ocupação urbana e rural, seleção de áreas para irrigação, seleção de áreas para estudo de jazidas naturais de materiais para construção, interpretação

da dinâmica superficial (erosão, escorregamento, colapsos, subsidência, etc.). (SALOMÃO e ANTUNES, 1998, p. 98)

As informações dos trabalhos de levantamentos de solos provém dados fundamentais para a elaboração de mapas voltadas ao planejamento urbano territorial, como os mapas geotécnicos e de capacidade de uso da terra, que têm como principal objetivo o uso racional do meio físico e a delimitação de ambientes.

Sendo assim, várias inferências podem ser tiradas desse produto sendo elas associadas às grandes áreas da agronomia, ecologia, biologia, engenharia, sem falar da geotecnologia como um todo entre diversas outras que necessitam de dados dessa natureza.

4.7. Mapa de Uso e Cobertura

O mapa de uso e cobertura (ou ocupação) reporta os diferentes usos abrangidos ou possíveis em uma determinada área, bem como as diferentes coberturas vegetais existentes, sendo produto essencial ao planejamento territorial e ambiental.

É um mapa fundamental que registra componentes antrópicos (uso) bem como bióticos (cobertura vegetal), classificando as unidades do terreno segundo suas características já presentes nele no momento de sua confecção e possibilitando inferências acerca das solicitações sobre o meio físico como fator fundamental do desempenho dos terrenos.

Para Prado e Novo (2005), existe uma necessidade de se tratar a paisagem em bacias hidrográficas de uma forma global, identificando as áreas ambientalmente sensíveis, onde são necessárias práticas de controle dos processos erosivos ou mudanças de uso da terra, e não somente a proteção dispensada aos cursos d'água por meio da mata ciliar. É nesse contexto que esse mapeamento de uso e cobertura se torna cada vez mais relevante ao planejamento, gestão e monitoramento ambiental.

Este é um mapa de usos múltiplos, ou seja, atende aos objetivos de diferentes usuários. Com a análise conjunta aos mapas pedológicos e de declividade seu uso torne-se relevante ao planejamento agrícola e territorial.

5. ÁREA EM ESTUDO: O RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA

A barragem de Barra Bonita está localizada no estado de São Paulo (Figura 4), no município de Barra Bonita e represa as águas do rio Tietê, constituinte da bacia do rio Paraná. É onde funciona a Usina Hidrelétrica de Barra Bonita que entrou em operação em 1963.

A usina possui quatro turbinas Kaplan com um total de 140,76 MW de potência instalada e um espelho d'água de 310 km² que acumula um volume de 3.622 x 106 m³ de água.

A barragem foi construída em concreto, tem comprimento de 480 m (Figura 3) e uma queda d'água bruta de 23,50 m. O seu vertedouro é do tipo comporta de superfície e tem descarga total de 4.530 m³/s.

Esta barragem possui uma eclusa de comprimento igual a 142,20 m e largura de 11 m com um desnível de 25 metros. A eclusa é usada por embarcações de turismo e cargas para passar para o outro nível da barragem e com isso permitir a continuidade da navegação no rio Tietê.

Os dados operacionais citados nesta seção foram extraídos do sítio digital da empresa administradora da usina, a AES Tietê.



Figura 3: Barragem de Barra Bonita (Fonte: AES Tietê).

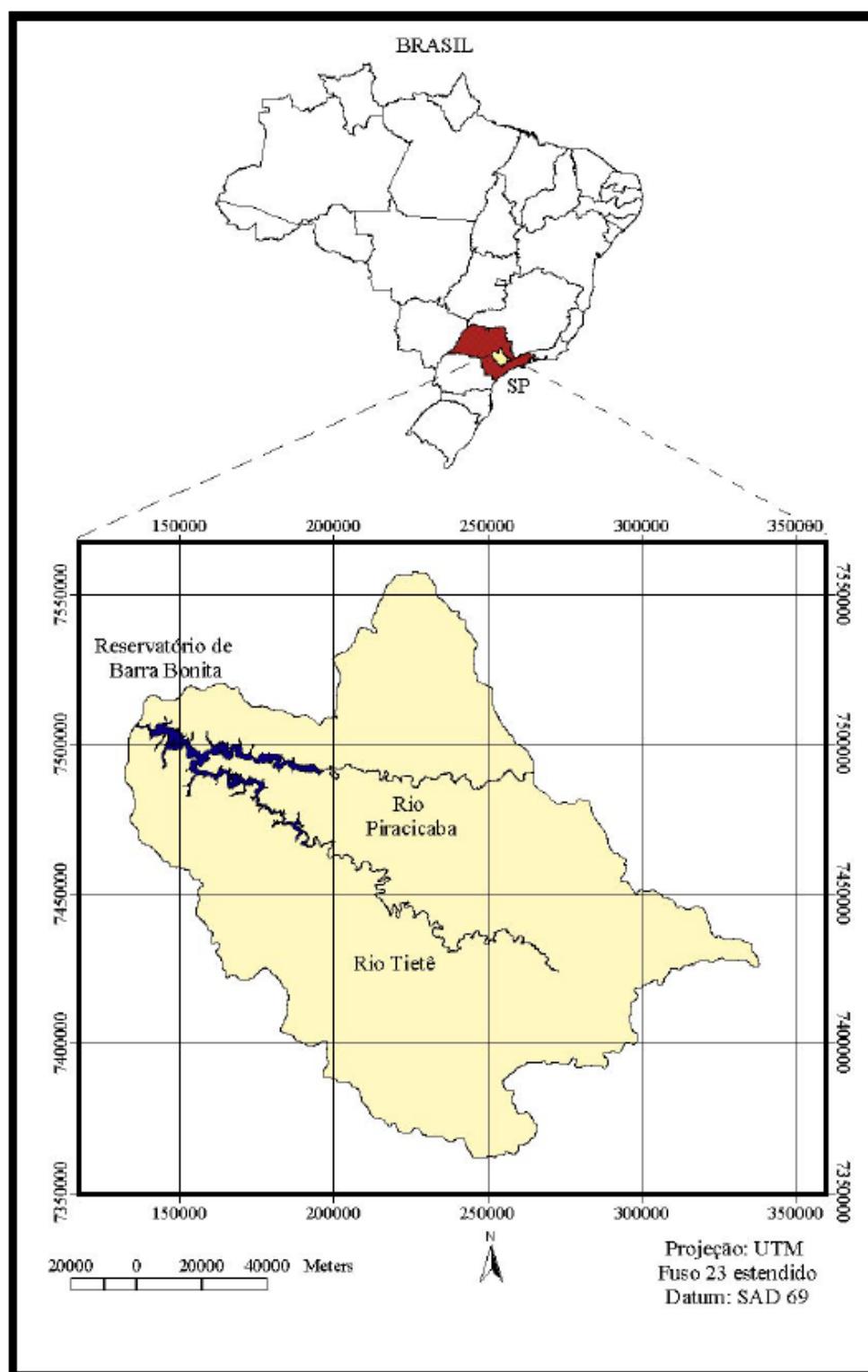


Figura 4: Localização do Reservatório. (PRADO E NOVO, 2005)

O reservatório de Barra Bonita é formado pelo represamento dos rios Tietê e Piracicaba, tendo como principais tributários os seguintes rios e riachos: Margem esquerda: Ribeirão do Tuni, Córrego do Araquazinho, Ribeirão Araqua, Córrego da Água Espalhada, Córrego do Cerrito, Córrego da Pedra do Cerrito, Rio do Lava-pés, Rio Capivara, Ribeirão Bonito, Córrego da Água Branca, Córrego da Mina, Córrego da Campina e Córrego dos Setes Guarantãs. Margem Direita: Córrego Barreirinho, Ribeirão das três Barras, Ribeirão da Prata, Córrego do Campo, Ribeirão da Onça, Córrego Santa Cruz, Córrego da Passagem, Ribeirão Turvo e Córrego da Pedra de Amolar.

Este reservatório se insere na UGRHI-13 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos) localizada na porção central do Estado. Essa unidade é definida pelas bacias hidrográficas de cursos d'água afluentes ao rio Tietê no trecho de cerca de 140 km entre as barragens das UHEs de Ibitinga e de Barra Bonita. Outra unidade onde o reservatório está inserido é a UGRHI-10 que tem à sua jusante a UGRHI-13.

Constitui-se no primeiro reservatório à jusante da cidade de São Paulo (aproximadamente 300 km em linha reta) a formar um complexo de barragens situadas no rio Tietê (CALIJURI, 1999 apud PRADO E NOVO, 2005) sendo que o reservatório em estudo é o primeiro barramento da cascata de reservatórios administrada pela empresa AES Tietê.

Barra Bonita é um reservatório antigo e está localizado em uma região de intensas transformações nos padrões de uso e ocupação da terra, o que o torna suscetível a problemas de poluição e assoreamento acelerado, sem contar que é destinado a usos múltiplos, merecendo ser abordado com mais critério. (FELICIDADE *et al.*, 2001 apud PRADO & NOVO, 2005).

6. MÉTODO

Nesta seção encontra-se a descrição do método seguido para a realização desta pesquisa. Através da Figura 5 pode-se ter uma visão geral do plano de ação seguido.

Inicialmente aplicou-se o método de mapeamento dos indicadores às imagens Landsat 5 do reservatório em dois períodos distintos: o seco e o chuvoso. A partir dos mapas gerados nesta etapa, pôde-se selecionar as sub-bacias piloto e, após o delineamento

destas, os seus mapas puderam ser gerados. Conjuntamente a isto, mapas temáticos da região do reservatório puderam ser gerados e um levantamento bibliográfico foi feito ao longo de todo o trabalho realizado.

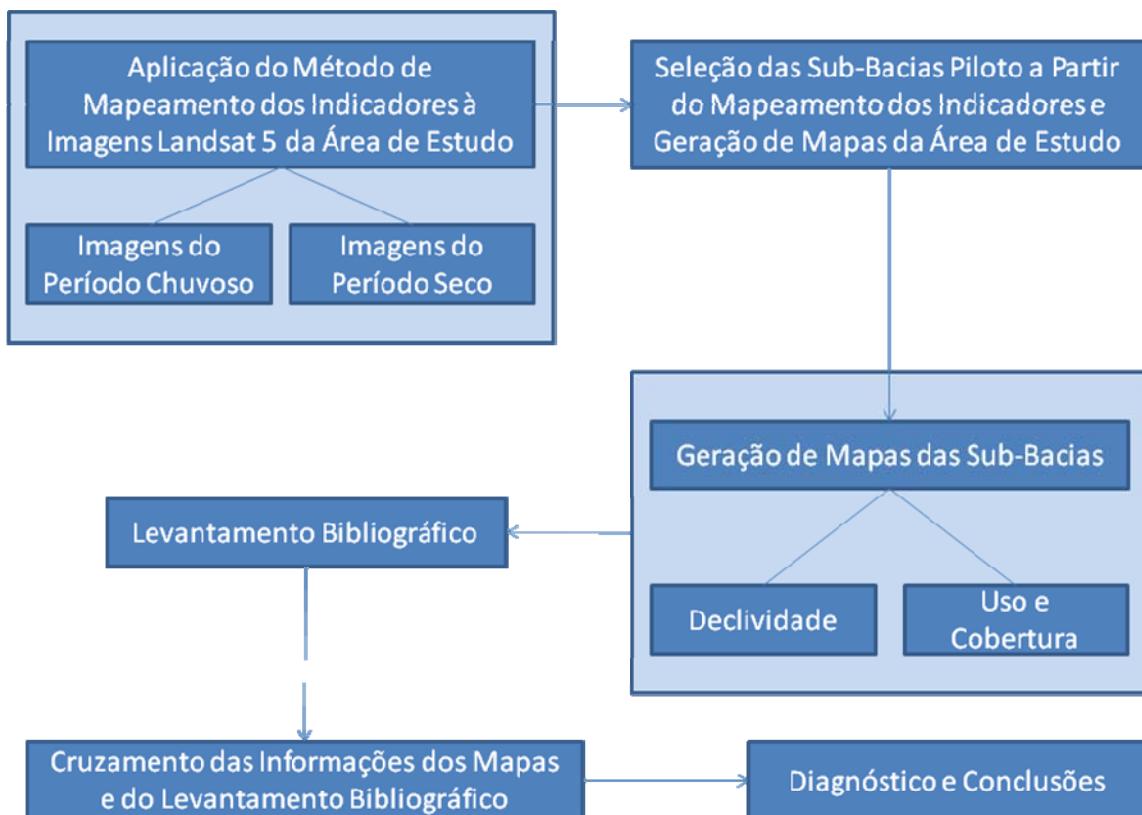


Figura 5: Plano de Ação Seguido.

6.1. Mapeamento da Dispersão de Macrófitas e do Aporte de Sedimentos

O método utilizado neste trabalho estrutura-se a partir daquele realizado por Galo *et al* (2002) embasando-se no fato de os reservatórios hidrelétricos apresentarem um gradiente espacial de carga de sedimentos ao longo do seu corpo, o que, aliado ao tamanho dos espelhos d'água destes, torna o monitoramento das propriedades da água extremamente oneroso e demorado face à dificuldade em se implantar um sistema de amostragem apropriado.

O método para mapeamento da dispersão de macrófitas aquáticas e do aporte de sedimentos iniciou-se pela aquisição de imagens Landsat 5 do Catálogo de Imagens do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

As bandas necessárias a este trabalho foram as bandas três, quatro e cinco do sensor Landsat 5 TM, responsáveis pela elaboração da composição colorida RGB (*Red, Green e Blue*).

Após a aquisição da cena de interesse, importou-se uma de suas bandas no TerraView, aplicativo visualizador de dados geográficos com recursos de consulta e análise de dados. Neste aplicativo pôde-se obter o retângulo envolvente da imagem a ser classificada, sendo este necessário à importação das imagens no SPRING.

Para a estruturação de um projeto no SPRING é necessário que seja delimitado um retângulo envolvente da área que será abrangida, por isso o TerraView é utilizado inicialmente, já que ele permite que as imagens sejam abertas sem essa pré-definição e, como estas já são baixadas do site do INPE georreferenciadas, pode-se obter a área de interesse representada pelas coordenadas do ponto inferior esquerdo e, em seguida, pelo ponto superior direito, delimitando, assim, o referido retângulo envolvente.

Adentrou-se, então, estes valores de coordenadas no SPRING e efetuou-se a estruturação do projeto, sendo as três bandas espectrais importadas e, finalmente, sendo aplicada a técnica do contraste à elas. A técnica de contraste apenas realça os alvos já presentes nas imagens tornando-os mais facilmente diferenciáveis para o olho humano.

Após o tratamento das imagens, estas foram definidas para que fosse obtida a composição colorida RGB. Para isso, a banda cinco recebeu a cor vermelha (*red* – mais apropriada pra análise de solo), a banda quatro recebeu a cor verde (*green* – mais apropriada para análise de cobertura vegetal) e a banda três recebeu a cor azul (*blue* – mais apropriada para análise de água). A partir dessa definição tem-se a imagem falsa cor (Figura 6) na qual os indicadores ambientais já podem ser identificados no espelho d'água.

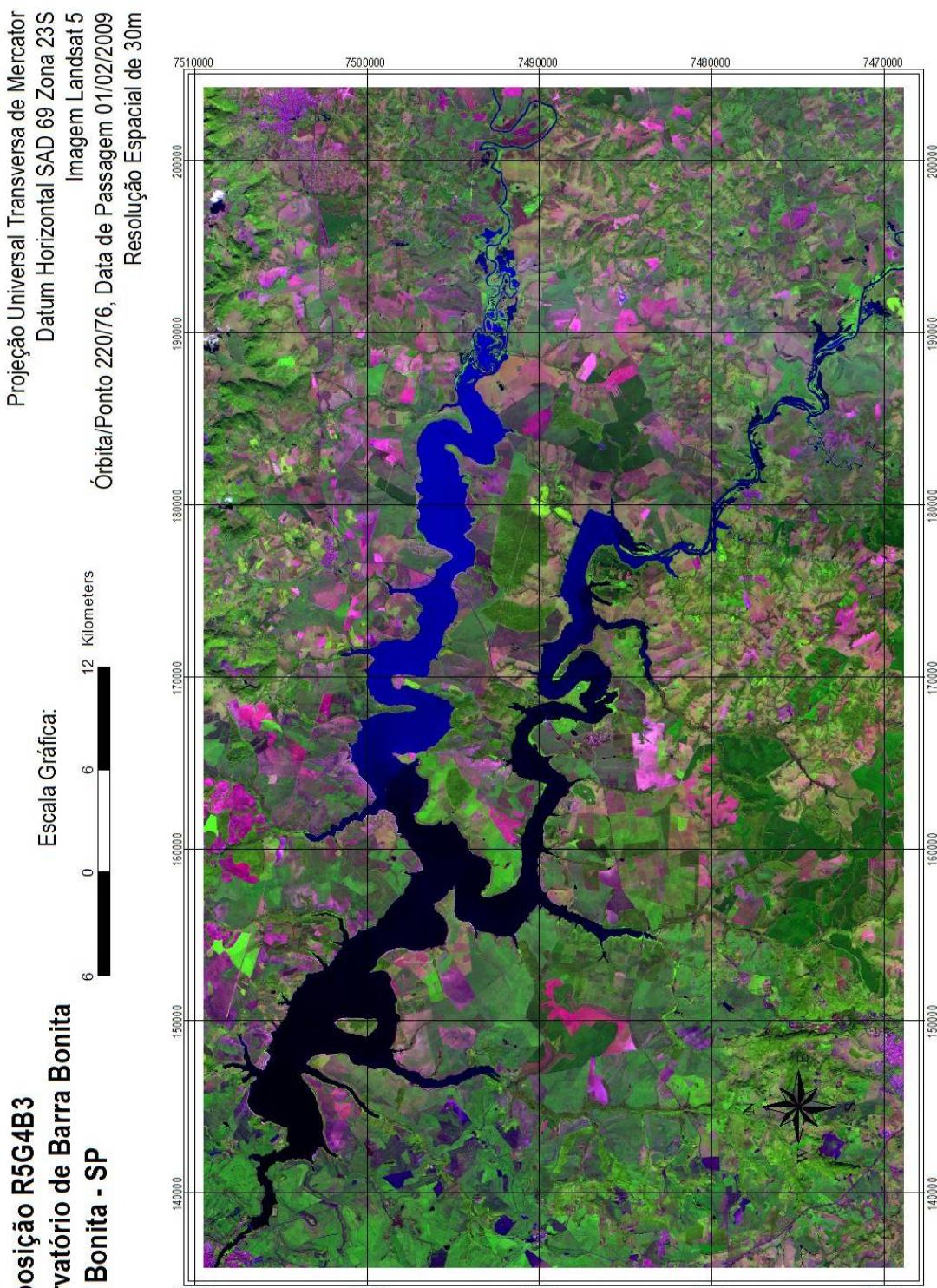


Figura 6: Mapa da Composição R5G4B3 do Reservatório de Barra Bonita.

Na seqüência, foi necessário proceder à segmentação da composição colorida obtida. O critério de similaridade, necessário para a realização da segmentação, é definido como a distância euclidiana máxima admissível entre as médias de um par de regiões adjacentes. O valor da similaridade adotado para a segmentação foi igual a 12, o mais comum em trabalhos científicos para análises dessa magnitude. Para a área, definida como número mínimo de pixels para configurar uma região, foi adotado o valor 20, também mais comum nos trabalhos científicos sobre reservatórios desse porte.

Neste momento, possui-se a composição falsa cor (composição RGB) já analisada pela segmentação; procedeu-se então a classificação da imagem, sendo esta etapa o processo de extração de informações das imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos.

Para efetuar a classificação, foi necessária a criação de um arquivo de contexto, o qual armazena quais as bandas farão parte do processo de classificação e qual o método utilizado, no caso o método por região [técnica de agrupamento de dados, na qual somente as regiões adjacentes, espacialmente, podem ser agrupadas (CÂMARA *et al*, 1996)]. Em seguida, também se fez necessária a extração dos atributos das regiões, que é a extração das informações estatísticas de média e variável de cada região considerando os dados armazenados no arquivo de contexto. (CÂMARA *et al*, 1996).

Dentro do processo de classificação supervisionada (onde o usuário define as classes e colhe amostras referentes a elas para que o SPRING classifique o resto da imagem de acordo com esse critério de entrada), realizou-se o treinamento que foi feito a partir da definição prévia e aquisição de amostras para classes de treinamento referentes a duas variações espectralmente perceptíveis de água (água com ou sem sedimentos suspensos) e à classe de treinamento referente às macrófitas aquáticas.

A partir da definição das amostras do treinamento e extração dos atributos estatísticos de cada classe, finalmente aplicou-se um algoritmo de classificação, o qual se baseia na menor distância de *Bhattacharya* (um dos algoritmos disponíveis no Spring para classificar regiões de uma imagem segmentada). Este classificador procura agrupar regiões, a partir de uma medida de similaridade entre elas. É usado para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais, ou seja, a distância média entre as distribuições de probabilidade de classes espectrais. (CÂMARA *et al*, 1996).

Por meio da aplicação deste método, a imagem classificada resultante apresenta apenas regiões denominadas aqui por água 1 (água sem sedimentos em suspensão), água 2 (água com sedimentos em suspensão) e macrófitas (áreas de infestação de plantas aquáticas). Entretanto, algumas dessas regiões constituem áreas isoladas, não integrantes do reservatório. Isso ocorre pelo fato de que muitas vezes a água com sedimento em suspensão pode ter a mesma reflectância que o solo, bem como as áreas com remanescentes florestais, ou até mesmo plantações podem apresentar a mesma reflectância das infestações por macrófitas. Sendo assim, faz-se necessário editar a cena classificada, recortando-a através do uso da ferramenta de recorte do plano de informação referente.

Por fim, esta imagem foi mapeada permitindo a transformação da imagem classificada em um mapa temático *raster* (categoria temática) a partir do qual a medida das classes pôde ser obtida auxiliando na interpretação do mapa gerado no SCARTA (subdivisão do SPRING responsável pela elaboração dos *layouts* dos mapas), fornecendo a magnitude da infestação por macrófitas e do aporte de sedimentos no reservatório em análise.

Na Figura 7 pode-se analisar de forma objetiva o fluxograma completo do método de mapeamento de macrófitas e sedimentos suspensos seguido.

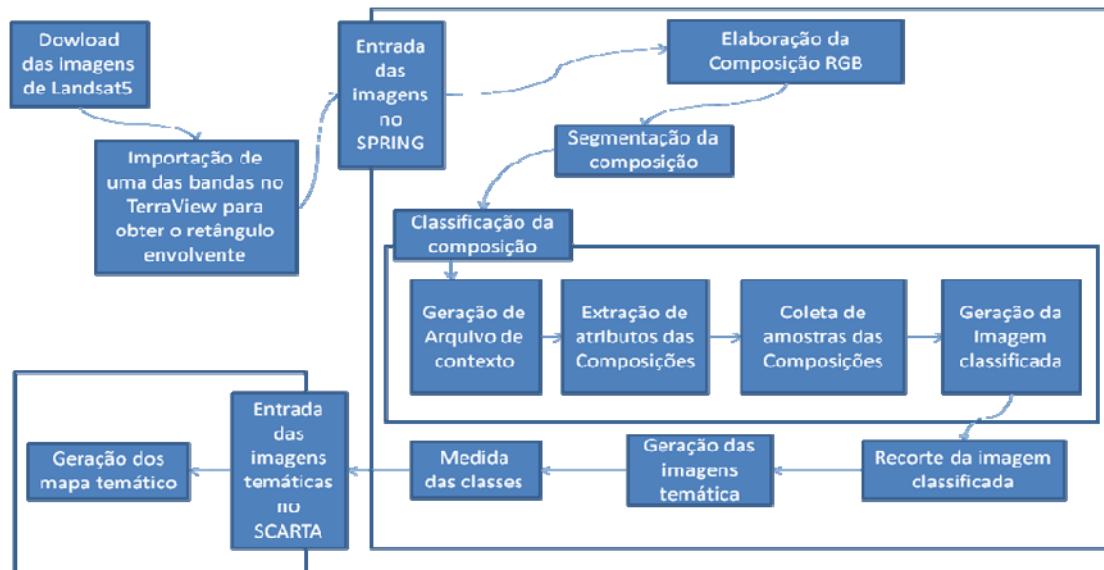


Figura 7: Fluxograma Representativo do Método Seguido para Mapeamento dos Indicadores

6.2. Escolha das Sub-Bacias Piloto e Elaboração dos Mapas Demais Temáticos

Para a escolha das sub-bacias piloto, primeiramente, priorizou-se a escolha de sub-bacias contribuintes ao braço da represa do Rio Tietê, visto que é este o rio represado e, então, condicionou-se escolher duas sub-bacias, uma que não contribua aos indicadores analisados e outra que apresente essa contribuição de modo a poder comparar as características contrastantes delas.

Escolhidas as sub-bacias piloto, procedeu-se a digitalização das curvas de nível de uma parte da área da carta topográfica (parte esta que contém as sub-bacias piloto) obtida pelo IBGE, com espaçamento de 20 metros entre as curvas de nível. Assim, pode-se gerar o Modelo Numérico do Terreno (MNT). Foi então elaborado o mapa temático de classes de declividade.

Foram utilizadas as folhas elencadas a seguir da carta do Brasil do IBGE:

- São Manuel SF – 22 – Z – B – V – 2;
- Barra Bonita SF – 22 – Z – B – VI – 1;
- Santa Maria da Serra SF – 22 – Z – B – VI – 2;
- São Pedro SF – 23 – M – III – 1;
- Anhembi SF – 22 – R – IV – 4; e
- Ibitiruna SF – 23 – M – III – 3;

Os mapas de cobertura bem como o delineamento das duas sub-bacias estudadas foram obtidos através do mapa básico do IBGE, o mesmo utilizado para a digitalização das curvas de nível. Este mapa já continha as informações necessárias que foram apenas digitalizadas para a geração dos mapas.

Pelo fato de os mapas do IBGE estarem já desatualizadas, quando se trata de uso e cobertura do solo, além do mapeamento utilizando-os, uma análise da composição falsa cor (Figura 6) do reservatório foi necessária para completar e reafirmar essa análise.

Para elaboração dos mapas pedológico, de biomas, das características geológicas, do potencial agrícola e do relevo foram utilizados os dados do site de Mapas Interativos do IBGE (<http://mapas.ibge.gov.br/>). Estes mapas reportam a toda a região do reservatório de Barra Bonita (escala 1:300.000) e não apenas à área das sub-bacias piloto. Neste sítio digital pôde-se obter dados seguros e georreferenciados sobre a região abrangida pelo reservatório facilitando a elaboração dos mapas temáticos de interesse.

O mapa da composição RGB (Figura 6) foi elaborado utilizando-se das bandas 3, 4 e 5 da cena utilizada para a elaboração da Figura 9. Essas bandas foram importadas no SPRING para que a composição *Red 5, Green 4 e Blue 3* (R5G4B3) fosse criada e exportada para o Arcview, onde o *layout* foi elaborado (Figura 6).

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos na forma de mapas e a discussão acerca destes.

7.1. Mapas da Dispersão de Macrófitas e do Aporte de Sedimentos

Comparando a cor da água do corpo do reservatório nos mapas gerados a partir de sensoriamento remoto para as diferentes épocas do ano (Figura 8 e Figura 9), percebe-se claramente uma maior variação na resposta espectral da água na cena representativa à época chuvosa, o que não é tão perceptível para o período seco.

Segundo Galo *et al* (2002), as variações na tonalidade do azul, diferente do preto (que é decorrente da total absorção dos comprimentos de onda da radiação do infravermelho próximo pela água limpa), devem-se à presença de sedimentos em suspensão no corpo d'água, o que é detectado pela banda 3 do sensor TM, cujos níveis de resposta espectral foram associados à componente de cor azul.

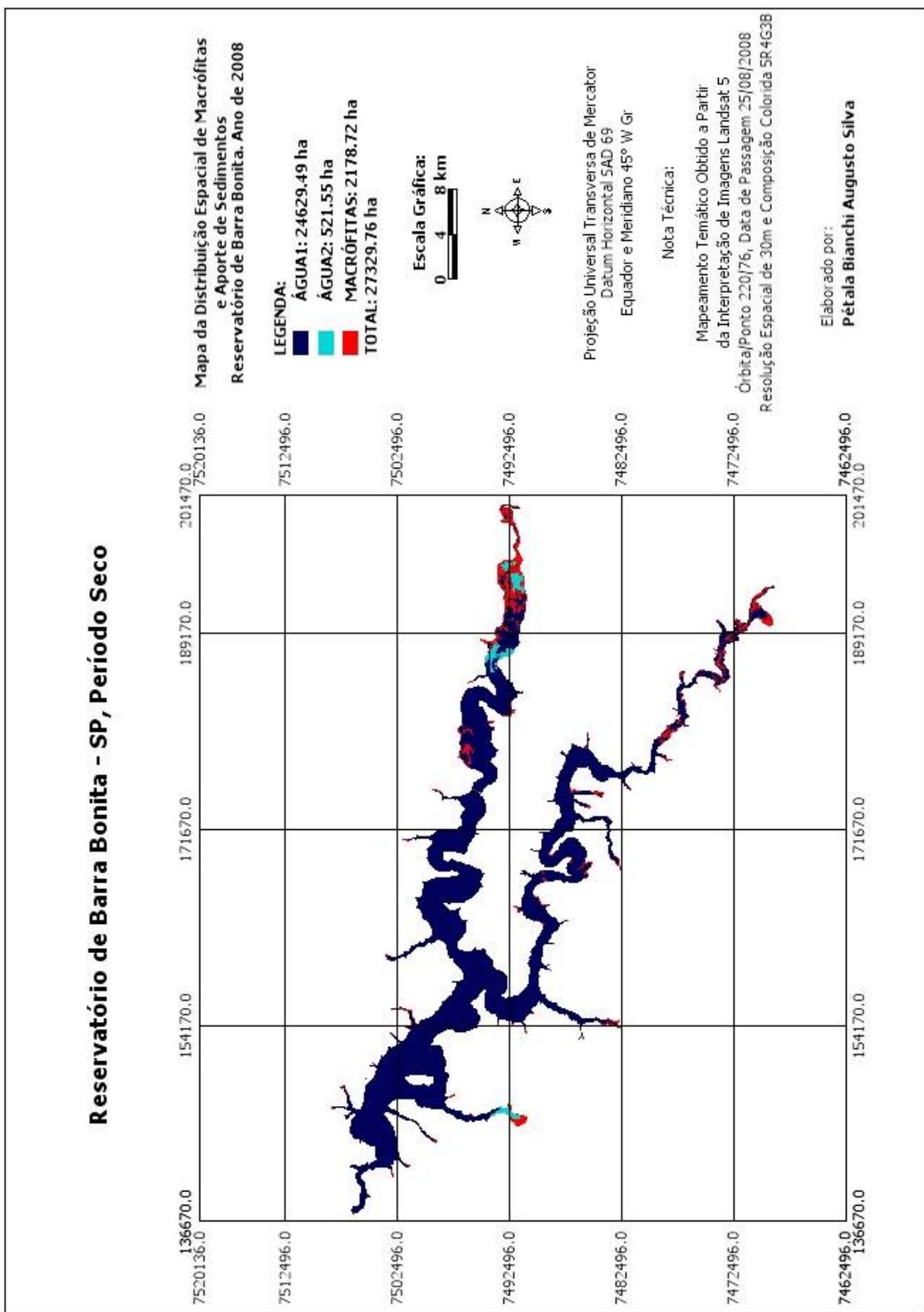


Figura 8: Mapa da Distribuição Espacial de Macrófitas e do Aporte de Sedimentos, Reservatório de Barra Bonita, Período Seco.

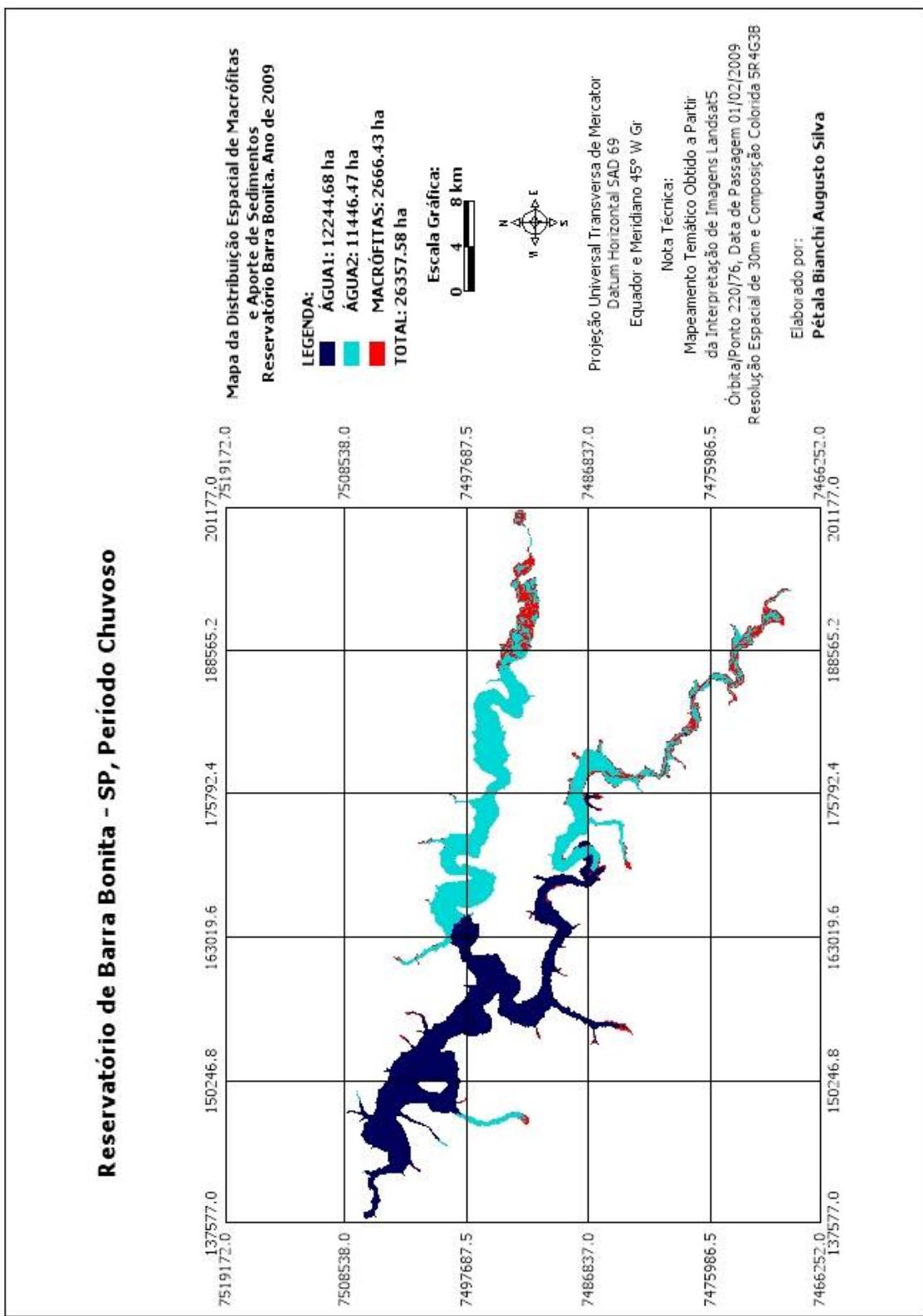


Figura 9: Mapa da Distribuição Espacial de Macrofitas e do Aporte de Sedimentos, Reservatório de Barra Bonita, Período Chuvoso.

Pela análise desses dois mapas em conjunto é possível inferir que a diferenciação na coloração da água entre os diferentes períodos representa realmente um aporte de sedimentos ao reservatório e não uma região rasa deste, por exemplo. Se representasse apenas uma região rasa do reservatório, a área de *água 2* nos mapas teria sido praticamente constante.

A presença de macrófitas no ingresso de tributários ao reservatório é uma constante em ambos os períodos enfocados. Grandes bancos são observados especialmente nos braços do Tietê e do Piracicaba (Rio Tietê ao sul e Piracicaba ao norte).

A partir desse resultado uma subárea foi definida para um estudo mais aprofundado e, dentro dela, duas sub-bacias piloto foram delimitadas para análise (Figura 10).

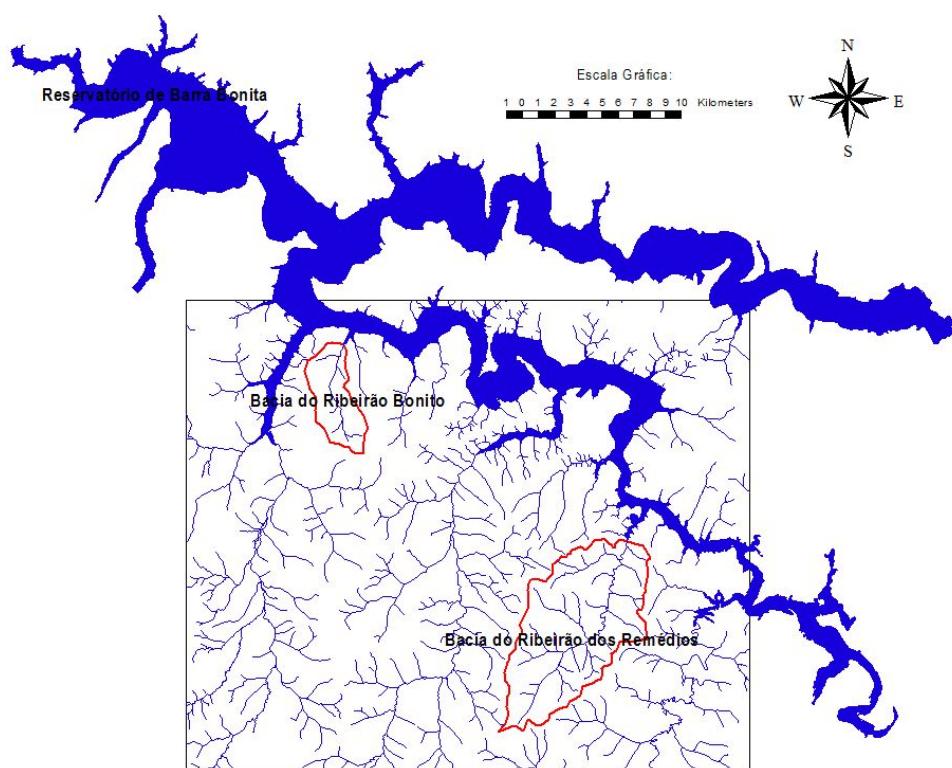


Figura 10: Esquema da Sub-Área de Análise.

7.2. Características Gerais da Área do Reservatório

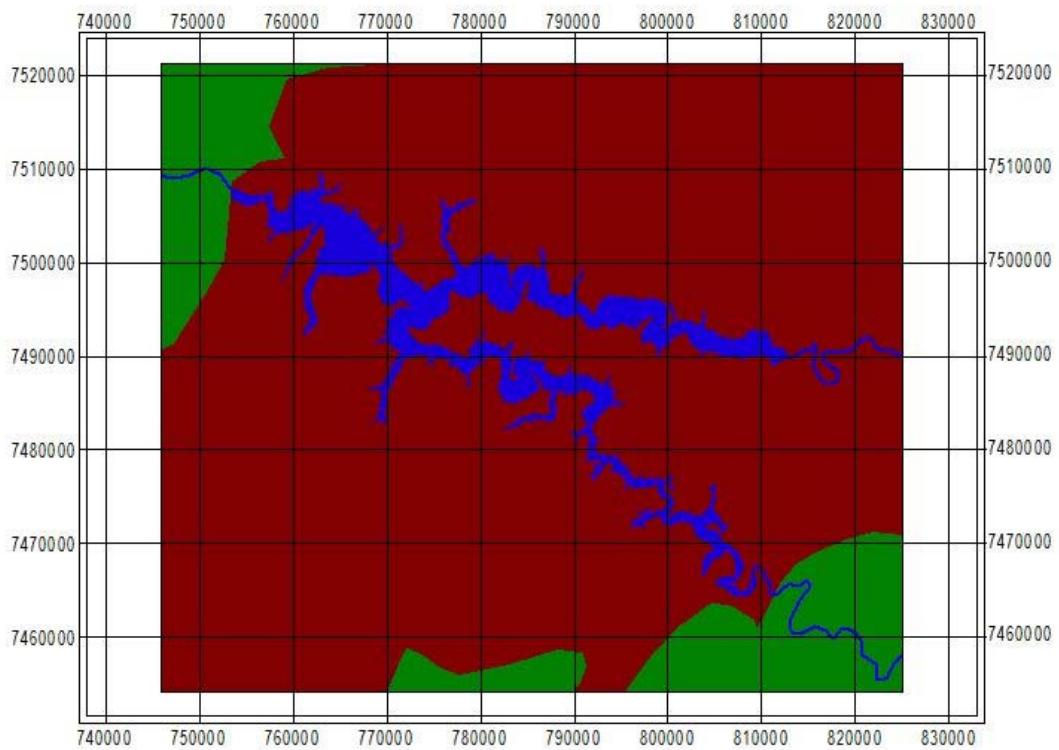
Nesta seção serão tratadas algumas questões gerais acerca das características da área do reservatório apresentadas nos mapas elaborados.

7.2.1 Biomas Originais

Os biomas identificados na região onde se encontra o reservatório são o Cerrado, em todo corpo da represa; e a Mata Atlântica, a jusante da barragem e a montante do reservatório ao longo do braço do rio Tietê (Figura 11).

A Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual) se mostra associada ao arenito Botucatu e à dupla estacionalidade climática com uma estação seca; já o Cerrado, vegetação xeromorfa, reveste os solos lixiviados aluminizados. (REFOSCO, 1996).

Biomas da Região do Reservatório de Barra Bonita



Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal SAD 69
 Equador e Meridiano 51° W Gr



Dados Obtidos a Partir dos
 Mapas Interativos do
 IBGE

Escala Gráfica:

10 0 10 Kilometers



Elaborado por:
 Pétala Bianchi
 Augusto Silva

Figura 11: Mapa dos Biomas Originais da Região do Reservatório de Barra Bonita (SP).

O cerrado ocupa cerca de 1/5 do território brasileiro, ocorrendo, sobretudo, nos planaltos do interior. Abrangendo tão vasta área, não se pode falar numa estreita relação com um determinado tipo de clima, embora em sua área principal predomine o clima tropical, com alternância bem marcada das estações chuvosa e seca, esta durando de 3 a 4 meses. (ROMARIZ, 1996)

Como características de sua cobertura, o cerrado detém um estrato herbáceo, em que são freqüentes as gramíneas, sendo descontínuo, apresentando-se em tufos e recobrindo irregularmente o solo. Sua cobertura pode ultrapassar, às vezes, um metro de altura, mas, em geral, é de cerca de 30 a 50 cm. (ROMARIZ, 1996).

Em concordância com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 1992) o bioma aqui nomeado Cerrado tem designação técnica de Savana (Cerrado). O nome Savana foi originalmente utilizado na Venezuela para designar a formação graminóide dos planaltos, em geral coberta por plantas lenhosas. O termo Cerrado é utilizado como sinônimo regionalista por apresentar uma fitofisionomia ecológica homóloga à da África e Ásia.

Sendo assim “a Savana é então definida como uma vegetação xeromorfa preferencialmente de clima estacional (mais ou menos seis meses secos), não obstante podendo ser encontrada também em clima ombrófilo.” (IBGE, 1992, p. 26).

Já o bioma Mata Atlântica se caracteriza pela presença de árvores de médio e grande porte, formando uma floresta fechada e densa, muito rica em biodiversidade, cujas árvores de grande porte formam um microclima na mata, gerando sombra e umidade. (ROMARIZ, 1996)

Os solos da floresta são no geral pobres em minerais sendo que a maior deles está contida nas plantas em vez de no solo. Esses minerais são liberados pela decomposição da serrapilheira e, uma vez liberados, são prontamente reabsorvidos pelo grande número de raízes existentes.

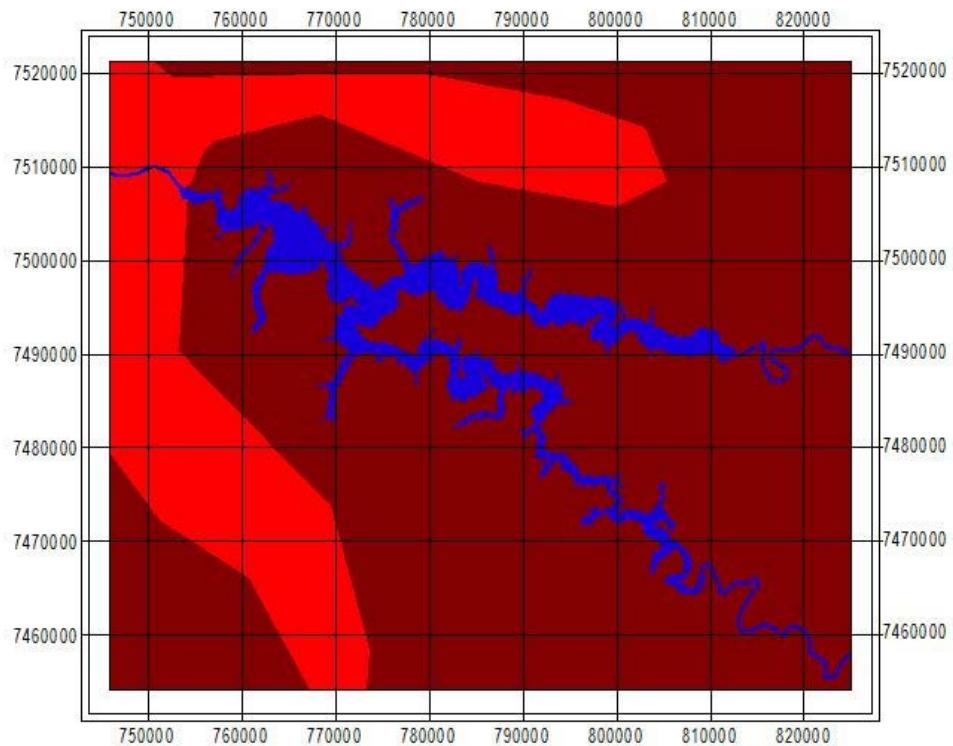
No entanto, o desmatamento leva a um rápido empobrecimento dos solos, já que as águas da chuva levam os minerais e os carregam para o lençol subterrâneo (lixiviação). Esses solos, por esse motivo, normalmente não se prestam à agricultura, a menos que sejam enriquecidos anteriormente. Este quesito será melhor abordado na seção referente à pedologia da região.

7.2.2 Características Geológicas e Relevo

Pelos dados provenientes dos Mapas Interativos do IBGE tem-se em todo corpo do reservatório sedimentos argilosos, arenosos e cascalhos e nas proximidades e à jusante da barragem pode-se perceber características vulcânicas de composição básica (Figura 12).

Segundo Brasil (1984, apud REFOSCO, 1996) as grandes formações geológicas observadas na área de estudo, são: Formação Pirambóia, onde são observados arenitos, relacionada a ambientes de deposição hídrica; Formação Botucatu com arenitos avermelhados de deposição eólica em ambiente desértico; Formação Serra Geral, constituída por uma seqüência vulcânica, basáltica; e Formação Bauru com arenitos, siltitos, argilitos e calcários.

Características Geológicas Região do Reservatório de Barra Bonita



Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal SAD 69
 Equador e Meridiano 51° W Gr

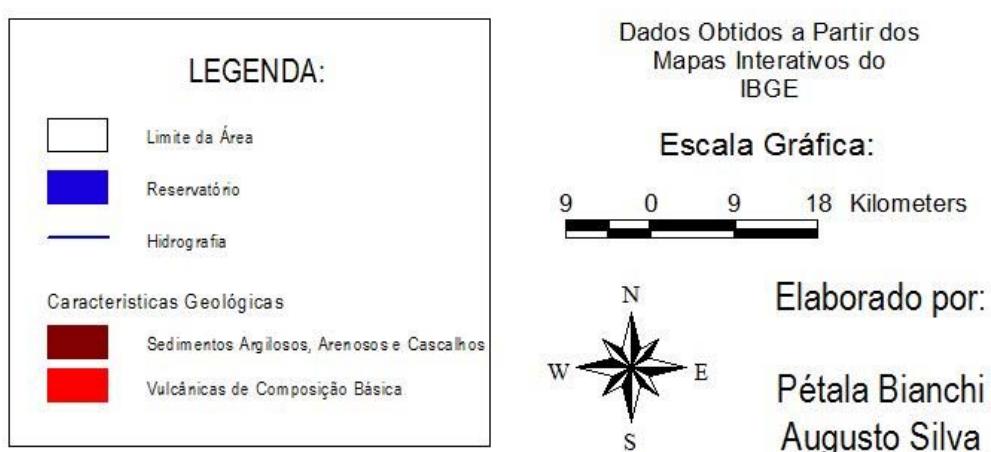


Figura 12: Mapa das Características Geológicas da Região do Reservatório de Barra Bonita (SP).

O ciclo sedimentar se inicia a partir da ruptura ou disagregação das rochas de uma área fonte ou província geológica pré-existente, a qual fornece fragmentos que são eventualmente, transportados e depositados em locais mais baixos topograficamente, constituindo os sedimentos, sendo estes classificados (entre outras formas) em função de sua granulometria ou tamanho dos grãos.

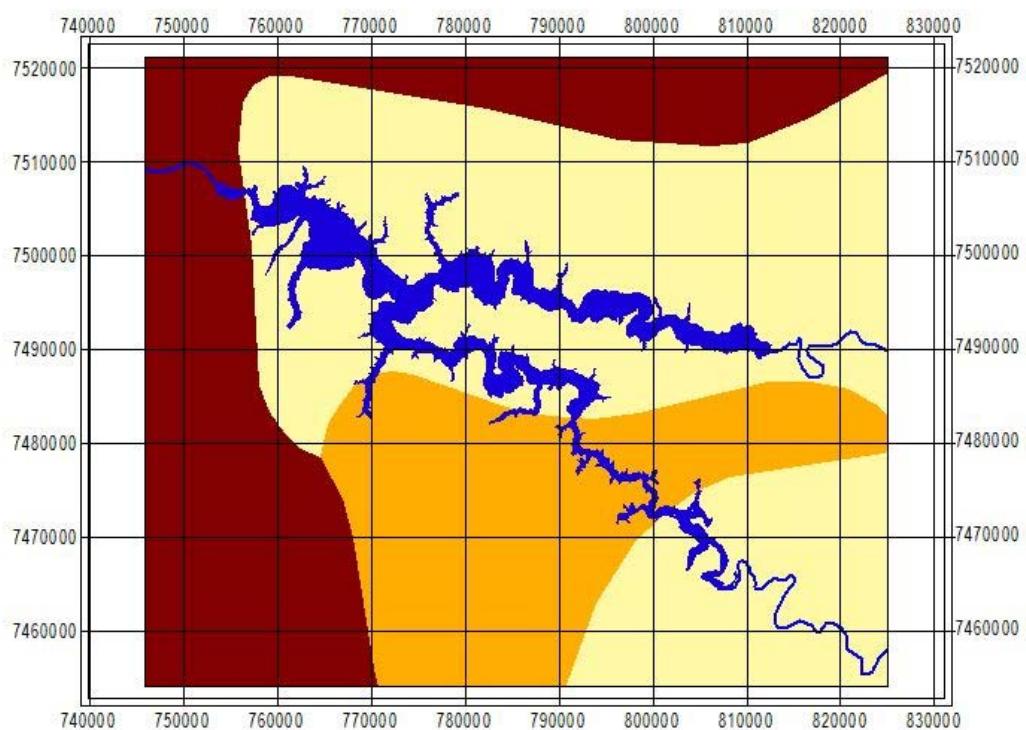
Os sedimentos argilosos, arenosos, os cascalhos diferem entre si pela textura, visto que o diâmetro da partícula característica de cada um aumenta da argila para o cascalho. Dessa forma, diversas características como propriedades hidráulicas, porosidade, permeabilidade, transmissividade, e etc. serão influenciadas por esse dado. (IBGE, 2007).

Enquanto isso, as características vulcânicas de composição básica têm coloração, cinza escura a negra e granulação muito fina a média. Geralmente assentam-se sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu. (IBGE, 2007).

Para Velázquez *et al* (1992, p. 26)“Atualmente, são conhecidos numerosos centros alcalinos na Plataforma Sul-Americana. Grande parte dessas intrusões encontra-se alinhada, preferencialmente, junto à borda oriental da Bacia do Paraná, situando-se em território brasileiro.”

Majoritariamente todo o corpo do reservatório se encontra em região de depressão periférico paulista. A porção central do braço de contribuição do Tietê se enquadra como patamar oriental da bacia do Paraná, enquanto a montante dessa porção tem-se novamente a depressão periférica paulista. Já nas proximidades e à jusante da barragem tem-se o planalto central da bacia do Paraná (Figura 13).

Relevo da Região do Reservatório de Barra Bonita



Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal SAD 69
Equador e Meridiano 51° W Gr



Dados Obtidos a Partir dos
Mapas Interativos do
IBGE

Escala Gráfica:

10 0 10 Kilometers



Elaborado por:
Pétala Bianchi
Augusto Silva

Figura 13: Mapa do Relevo da Região do Reservatório de Barra Bonita (SP)

A Depressão Periférico Paulista é constituída principalmente de arenitos, por vezes conglomerados, com lâminas e leitos de argila subordinados, com até 30 m de espessura (PONÇANO, 1981). Possui relevo com formas onduladas ou tabuliformes, destacando-se os morros testemunhos e pequenas cuestas. Na maior parte é de grande amplitude topográfica, com vales amplos e suaves.

Esta Depressão é recoberta por uma “densa rede de drenagem, salientando-se alguns rios principais com cursos conseqüentes que, mantendo seu antigo traçado dirigido para NW [noroeste] em direção ao eixo da bacia do Rio Paraná, a partir de uma superfície deplainamento antiga (...) superimpuseram-se às estruturas paleozóicas e mesozóicas para romperas as cuestas basálticas” (PONÇANO, 1981²) e etc. Esse rio [Tietê], como artéria principal de maior capacidade erosiva e provavelmente com interferências tectônicas teria provocado capturas através de seus afluentes (...) que “adaptando-se às estruturas, passaram a percorrer as cuestas com nítido desvio em seu traçado, a exemplo do Piracicaba.” (PONÇANO, 1981²).

Já Bacia do Paraná é uma ampla bacia sedimentar situada na porção centro-leste da América do Sul, principalmente no Brasil e a maior parte do Estado de São Paulo acha-se incluída nesta bacia.

O patamar oriental dela constitui, em quase toda sua extensão, uma área interplanáltica localizada entre relevos esculpidos em rochas cristalinas e aqueles esculpidos entre rochas efusivas, circundando o Planalto das Araucárias desde o limite com o Estado de São Paulo até, aproximadamente o Município de Santa Maria (RS).

Para Bartorelli e Haralyi (1998, p. 63) “a bacia sedimentar do Paraná, se considerada como unidade tectônica individual, constitui a maior bacia intracratônica conhecida (...). Estes autores ainda completam que grandes aproveitamentos energéticos foram favorecidos pela onipresença de rochas basálticas associadas a todo o sistema de drenagem da bacia, o que resulta que o leito do Tietê foi estabelecido em rochas basálticas da Formação Serra Geral (...). As grandes barragens construídas nesse rio “têm suas estruturas principais assentadas diretamente sobre basalto, de qualidade bastante boa como rocha de fundação.” (BARTORELLI e HARALYI, 1998, p. 63).

Na borda oriental da Bacia Sedimentar do Paraná afloram varvitos e tilitos da Formação Itararé. (BARTORELLI e HARALYI, 1998). “Em São Paulo as exposições da

Formação Itararé são observadas repousando sobre uma superfície de erosão entalhada em rochas cristalinas (...) e em sedimentos da Formação Furnas.” (ALMEIDA e MELO, 1981, p. 50). Almeida e Melo ainda ressaltam que “a Formação Itararé em São Paulo apresenta-se como uma complexa associação de variadas litofacies, quase todas detriticas, que se sucedem vertical e horizontalmente, de maneira mais ou menos rápida.” (1981, p. 50)

Bartorelli e Haralyi (1998) ressaltam que, na parte nordeste da referida bacia, as lavas basálticas transpuseram toda a seqüencia sedimentar mais antiga e espalharam-se diretamente sobre o embasamento cristalino.

Disposta em forma de arco, em torno dos terrenos da Bacia Sedimentar do Paraná, a Borda Oriental oferece vastos aspectos topográficos relacionados aos tipos e às intensidades das deformações tectônicas que a afetaram, e aos processos geomorfológicos atuantes sobre as formações geológicas heterogêneas. A porção mais oriental da borda cristalina no Paraná, eleva-se como serra marginal limitada a leste pelo imponente escarpamento da Serra do Mar.

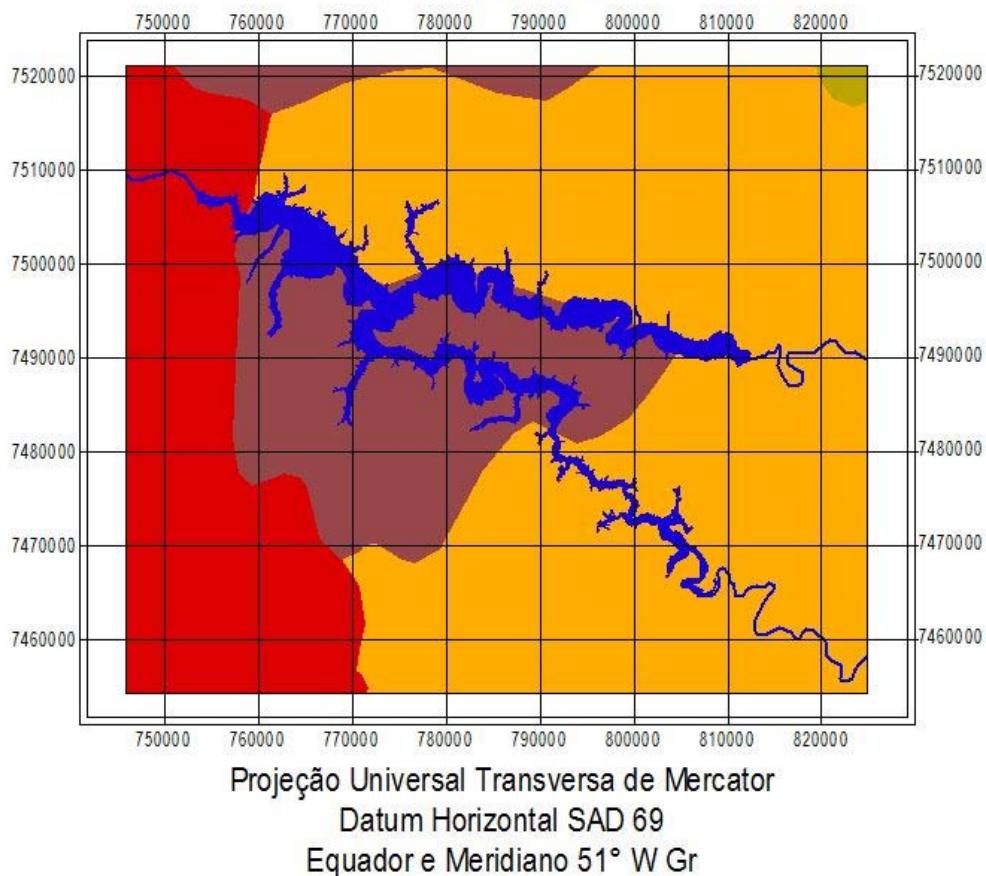
Por fim o planalto central da bacia do Paraná se enquadra como uma subdivisão dos Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná. Nessa formação predominam formas tabulares onduladas com altitudes que variam de 500 a 1000 metros e as rochas basálticas.

7.2.3 Tipos de Solo

Tem-se ao longo do corpo do reservatório a predominância do Latossolo Vermelho-Amarelo. A região dos braços contribuintes do Tietê e do Piracicaba faz parte do Argilossolo Vermelho-Amarelo. As proximidades da barragem e à jusante dessa fazem parte do Latossolo Vermelho (Figura 14).

A represa está localizada numa região caracterizada como relevo de Cuestas, onde a erosão é um processo bastante intenso para os referidos solos. (BRASIL, 1984 apud REFOSCO, 1996).

Tipo de Solo da Região de Barra Bonita



Dados Obtidos a Partir dos
Mapas Interativos do
IBGE

Escala Gráfica:



Elaborado por:
Pétala Bianchi
Augusto Silva

Figura 14: Mapa Pedológico da Região do Reservatório de Barra Bonita (SP).

Todos os tipos de solo levantados para a área são solos minerais, não hidromórficos, “desenvolvidos na zona de oxidação do terreno, em ótimas condições de drenagem, pouco afetados pelo lençol d’água subterrânea. Podem se desenvolver a partir da pedogênese de rochas de diferentes naturezas (igneas, metamórficas e sedimentares) ou de coberturas aluvionares e coluvionares.” (SALOMÃO e ANTUNES, 1998, p. 94).

Os latossolos “são solos espessos, com perfis de alteração de dezenas de metros, homogêneos, porosos, com aspecto maciço, porém friável quando seco. São solos típicos de áreas planas ou de colinas suaves e dos topo dos morros com declividades entre 1 e 10%.” (BITAR, 1995, p. 24). São solos com “estrutura, em geral, do tipo granular, microagregada ou maciça-porosa. Não apresentam minerais primários facilmente intemperizáveis e a fração argila, com alto grau de floculação, é constituída predominantemente por óxidos de ferro, óxidos de alumínio, e argilominerais.” (SALOMÃO e ANTUNES, 1998, p. 94 e 95).

Para Salomão e Antunes (1998, p.95) “os latossolos tendem a ocorrer em relevos suaves de vertentes pouco declivosas (...). É comum a associação de latossolos com as argilossolos, dispondo-se os primeiros nas porções menos declivosas das vertentes e, os segundos, nas porções mais declivosas.”

Essa tendência apresentada pelos latossolos em se dispor em topografias suavizadas do relevo deve-se ao fato dos latossolos desenvolverem-se, especialmente, por ação das águas de infiltração, que promovem a alteração dos minerais presentes no substrato pedogenético e a remoção, por lixiviação, de substâncias solúveis (principalmente bases de sílica), e deixando *in situ* substâncias menos solúveis (especialmente ferro e alumínio) na forma oxidada. (SALOMÃO e ANTUNES, 1998).

Características gerais dos latossolos são: solo maduro, alta porosidade e lençol freático profundo.

No Estado de São Paulo o Latossolo Vermelho-Amarelo é predominante. Eles apresentam “grande capacidade de infiltração d’água superficial graças ao grande volume de poros (em torno de 50% em geral) e do tamanho desses poros. São, portanto, solos com pouca susceptibilidade natural à erosão, escorregamentos, etc.” (BITAR, 1995, p. 24).

Segundo IBGE (2007, p. 290) os Latossolos Vermelho-Amarelos “são profundos, com boa drenagem e normalmente baixa fertilidade natural (...).”

O uso inadequado desse tipo de solo provoca a concentração de água em grandes volumes e, quando atingida a saturação total, os latossolos perdem a estrutura e sofrem colapso gerando abatimentos no terreno. “Se a concentração de água gerar sulcos na superfície do solo, rapidamente eles podem evoluir, formando grandes ravinas que, ao atingir o lençol freático, formam boçorocas de grande porte [...].” (BITAR, 1995, p. 24).

O Latossolo Vermelho tem textura bem argilosa, estando também presente em relevos suavemente ondulados e planos. Neste, como nos outros solos a drenagem da água é bem rápida devido à porosidade característica da área. “Solos vermelhos, geralmente com grande profundidade, homogêneos, de boa drenagem e quase sempre com baixa fertilidade natural (necessitam correções químicas para o aproveitamento agrícola).” (IBGE, 2007, p. 289).

Enquanto isso os Argilossolos Vermelho-Amarelo apresentam como principal problema a compactação, que diminui os poros de maneira acentuada, comprometendo a capacidade de infiltração da água e gerando processos de degradação permanentes. “Os solos desta classe têm como característica marcante o aumento de argila no horizonte superficial [...].” (IBGE, 2007, p. 276).

Algumas características de interesse geotécnico dos argilossolos são: horizonte A (horizonte mineral superficial) relativamente espesso, em geral essencialmente arenoso; horizonte B (horizonte mineral subsuperficial, situado abaixo do A) com moderada a baixa permeabilidade e moderada a alta erodibilidade; presença comum de um lençol suspenso temporário situados nos limites A e B e lençol inferior ao horizonte B; e alta suscetibilidade a erosão. (SALOMÃO e ANTUNES, 1998).

7.3. Discussão Acerca das Características Levantadas

O tipo de solo dos braços contribuintes do Tietê e do Piracicaba ao reservatório (Argilossolo Vermelho-Amarelo) explica a grande contribuição de sedimentos ao corpo d’água visto que esse tipo de solo, sendo mal utilizado, gera um maior escoamento superficial, o que contribui ao arraste de sedimentos até este.

A má utilização dessa área é evidenciada pela Figura 15 que mostra que praticamente todo o corpo do reservatório se enquadra em área de potencial agrícola

restrito. Entretanto, por uma simples análise da região através do uso de imagens de satélite, sabe-se que os principais usos da região são de cunho agropastoril.

Potencial Agrícola Região do Reservatório de Barra Bonita

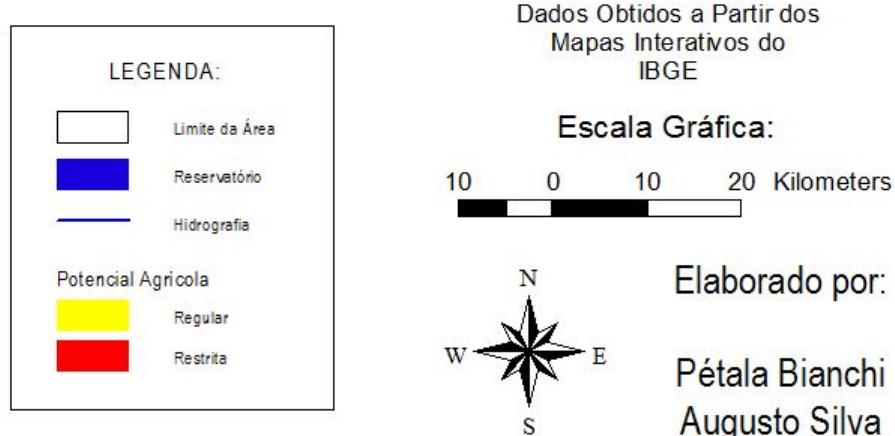
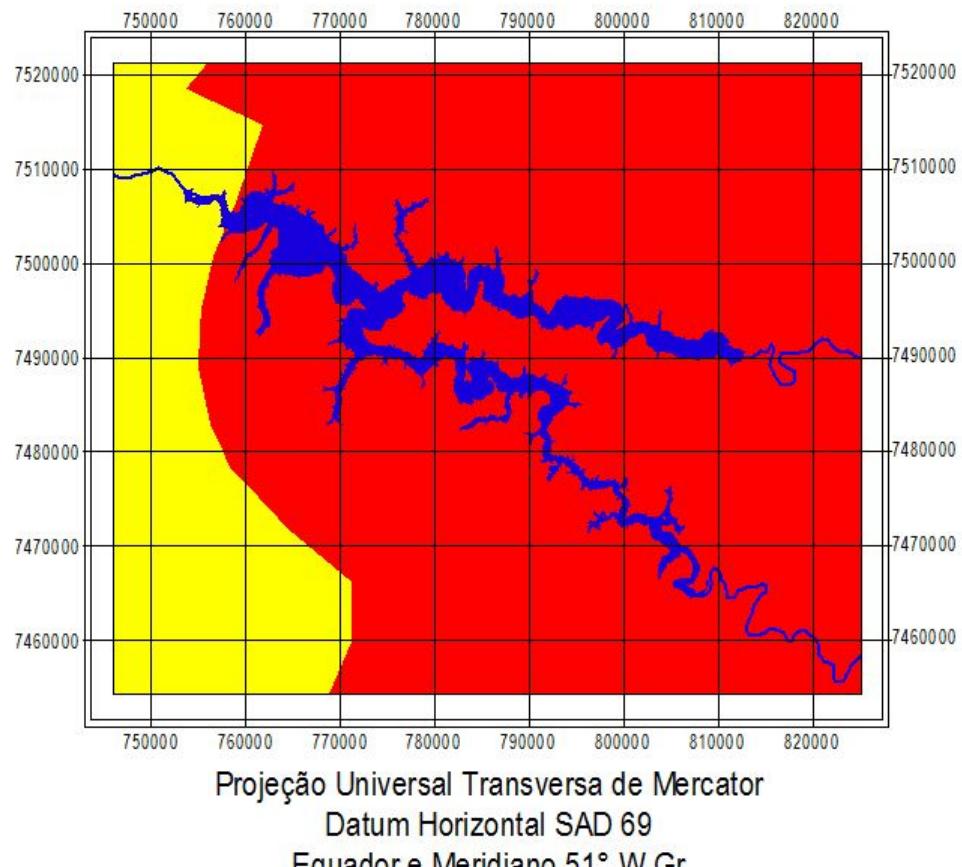


Figura 15: Mapa do Potencial Agrícola da Região do Reservatório de Barra Bonita (SP).

Prado e Novo (2005) evidenciam que o tipo de uso da terra é intenso às margens do reservatório e, com a cobertura vegetal reduzida na região conjuntamente à presença de argilossolos que são bastante susceptíveis à erosão, o quadro dos processos erosivos é agravado.

Pela análise da Figura 8 e da Figura 9, que demonstram um intensivo aporte de sedimentos e uma significativa e constante presença de infestações de macrófitas nos braços contribuintes do Tietê e do Piracicaba, pode-se concordar com Refosco (1996) que defende que a concentração de sedimentos suspensos no reservatório de Barra Bonita sofre, sobretudo, influência das entradas de material pelos rios formadores (rios Tietê e Piracicaba), e os cursos d'água do entorno contribuem com menor quantidade de material em suspensão.

Entretanto, considerando que a suscetibilidade da paisagem à erosão muda com o tempo, principalmente devido às mudanças no uso e cobertura do solo sabe-se que, desde a data do estudo realizado por Refosco, as práticas de cunho agropastoril se intensificaram no entorno do reservatório, portanto a afirmativa de que o aporte de sedimentos apresentado pelas sub-bacias que afluem ao reservatório é insignificante se torna errônea.

Sendo assim, somando-se os tipos de solo da região aos seus principais usos tem-se um quadro de alerta a processos de arraste de sedimentos bem como nutrientes presentes no terreno.

O relevo da região, isoladamente, não se apresenta como um deflagrador natural dos processos em análise. Já as características geológicas desta demonstram uma predominância de sedimentos argilosos, arenosos e cascalhos, essa informação foi extraída dos mapas interativos do IBGE. Uma subdivisão melhor estruturada dentro desta categoria, separando as diferentes granulometrias tornaria este mapa (Figura 12) mais útil para as análises deste trabalho.

7.4. Características das Bacias Piloto

Inicialmente na Tabela 1 são apresentadas as áreas aferidas para as bacias piloto analisadas e na Tabela 2 os perímetros destas.

Tabela 1: Área das Bacias Piloto.

Bacia do Ribeirão Bonito (ha)	Bacia do Ribeirão dos Remédios (ha)
1559.0	6718.7
(km ²)	(km ²)
15.6	67.2

Tabela 2: Perímetro das Bacias Piloto.

Bacia do Ribeirão Bonito (km)	Bacia do Ribeirão dos Remédios (km)
18.2	39.6

Só pelos dados das tabelas anteriores, algumas conclusões acerca das bacias podem ser tiradas através do cálculo de alguns parâmetros. O coeficiente de compacidade de uma bacia (K_c) é a relação entre o perímetro da bacia e a sua área:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Sendo P o perímetro da bacia e A sua área, tem se que a bacia do Ribeirão Bonito tem K_c igual a 1,29 enquanto a do Ribeirão dos Remédios tem esse parâmetro igual a 1,35. Vê-se que os valores encontram-se muito próximos.

Segundo Jorge e Uehara (1998, p. 105) “um coeficiente igual à unidade corresponde a uma bacia circular. Quanto mais próximo da unidade for o valor desse coeficiente, mais acentuada será a tendência para maiores enchentes.” Bacias circulares tende a contribuir de forma mais intensa ao deflúvio em seu exutório, aumentando o risco de enchentes.

Outro coeficiente interessante é o Fator de Forma (K_f) que é a relação entre a área da bacia (A) e o comprimento do seu curso d’água mais extenso (L).

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Sendo assim, a bacia do Ribeirão Bonito tem fator forma igual a 0,37 ($L = 6.4 \text{ km}$) e a do Ribeirão dos Remédios igual a 0,24 ($L = 16.7 \text{ km}$).

Através desses valores pode-se concluir que a bacia do Ribeirão dos Remédios é mais longa (K_f baixo) e, se a outra bacia tivesse a mesma área desta, poder-se-ia concluir que a de menor fator de forma é menos sujeita a enchentes, já que, sendo mais alongada, o seu tempo de concentração (tempo, a partir do início da precipitação, que uma gota d'água leva para percorrer a distância entre o ponto mais afastado da bacia e seu exutório) é maior.

O último parâmetro morfológico a ser analisado para as bacias foi a densidade de drenagem (d), sendo ela a relação entre o somatório de todos os comprimentos dos cursos d'água contidos na bacia (Σl), dividido pela área da bacia (A).

$$d = \frac{\sum l}{A}$$

Os somatórios para as bacias foram iguais a 69.07 km para a do Ribeirão dos Remédios e 11.28 para a do Ribeirão Bonito. Sendo assim a densidade de drenagem da bacia do Ribeirão dos Remédios é 1.03 enquanto que para a do Ribeirão Bonito é 0.72. Desse valor pode-se inferir que, como a Bacia do Ribeirão dos Remédios tem valor maior o seu terreno é mais impermeável que o da Bacia do Ribeirão Bonito.

Na Tabela 3 tem-se uma summarização dos parâmetros analisados nessa seção para as duas sub-bacias piloto.

Tabela 3: Sumarização dos Parâmetros Analisados

Parâmetros	Bacia do Ribeirão Bonito	Bacia do Ribeirão dos Remédios
K_c	1.29	1.35
L	6.4 km	16.7 km
K_f	0.37	0.24
Σl	11.28 km	69.07 km
d	0.72 m/m ²	1.03 m/m ²

Aqui cabe ressaltar que a análise dos usos e coberturas das bacias tem características mais detalhadas do que aquelas levantadas para todo o reservatório devido à

diferença apresentada entre as escalas dos dados de origem. Para os mapas do reservatório como um todo foram utilizados dados dos mapas interativos do IBGE em escala 1:300.000 enquanto que para os dados das bacias foi possível utilizar um mapa do reservatório em escala 1:50.000, mais apropriada para um estudo detalhado.

7.4.1 Declividade

A maior parte da bacia do Ribeirão dos Remédios encontra-se entre 6 e 15% de declividade (APÊNDICE I). O intervalo entre 6 a 12% é considerado de média susceptibilidade à erosão, enquanto que entre 12 e 20% é considerado de alta; assim, existe um predomínio de média susceptibilidade à erosão na bacia. As regiões com cotas mais elevadas apresentam declividades entre 0 e 6%, declividade esta que enquadra baixa e muito baixa susceptibilidade à erosão (0 a 3% - muito baixa; e 3 a 6% - baixa).

Aqui é muito importante ressaltar que as regiões ao longo dos cursos d'água apresentam declividade entre 15 e 30%. Pela vasta gama de literatura consultada, declividades entre 12 e 20% têm alta susceptibilidade à erosão enquanto que declividades maiores que 20% têm muito alta susceptibilidade, sendo que uma ínfima porção tem declividade maior que 30% na bacia. Dessa forma, fica evidente que ao longo dos cursos d'água da bacia a declividade é de alta a muito alta se caracterizando como quesito deflagrador da erosão e consequente assoreamento dos corpos d'água.

Dessa maneira, é notável que, estando o solo majoritariamente ocupado por pastagem, desprovido de sua cobertura vegetal original [a Savana (Cerrado)] e sendo ele um Argilossolo Vermelho-Amarelo, haja compactação acentuada, aumentando o escoamento superficial, podendo-se inferir que este seja o principal motivo do aporte de sedimentos ao reservatório.

Além disso, o arraste de nutrientes pelo escoamento superficial faz com que estes acabem no corpo d'água incitando a proliferação descontrolada de macrófitas aquáticas. Os próprios sedimentos carreados acabam por levar consigo esses nutrientes presentes no solo potencializando esse efeito.

Diferentemente da bacia do Ribeirão dos Remédios, a bacia do Ribeirão Bonito se caracteriza por apresentar porções ínfimas com declividade entre 15 e 30% (alta e muito

alta susceptibilidade à erosão). A maior porção dessa bacia se enquadra nos 0 a 6% de declividade (muito baixa e baixa susceptibilidade à erosão) sendo uma boa parte ainda enquadrada nos 6 a 15% (média susceptibilidade).

A declividade nesta sub-bacia não se mostra como um deflagrador de processos erosivos.

7.4.2 Vegetação

A bacia do Ribeirão dos Remédios é majoritariamente ocupada por pastagens, tendo porções ínfimas com o bioma original (Savana (Cerrado)) preservadas e ainda outras ocupadas por eucaliptos (APÊNDICE II).

Esse mapeamento reforçou a idéia sobre o grau de antropização apresentado nesta sub-bacia, notadamente elevado.

Cabe reforçar que essa característica é de extrema importância aos processos de erosão, escoamento, arraste de nutrientes, etc. A cobertura vegetal é muito importante para estes processos, podendo reduzi-los ou intensificá-los. Como no caso em questão a cobertura vegetal original já praticamente inexiste, os processos de erosão, escoamento superficial e arraste de partículas e nutrientes é então potencializado.

Já a Bacia do Ribeirão Bonito é ocupada majoritariamente pelo seu bioma original, a Savana (Cerrado), tendo uma porção ao norte de Campo e uma pequena área de fazenda.

“Os campos são caracterizados, principalmente, pela presença de gramíneas, cuja altura, em geral, varia de 10 a 50 cm aproximadamente, constituindo uma cobertura que pode ser quase contínua, ou apresentar-se sob a forma de tufo, deixando, neste caso, alguns trechos de solo a descoberto. Espaçadamente poderão ocorrer pequenos subarbustos e, raramente, arbustos.” (ROMARIZ, 1996, p. 18).

A presença dos campos acha-se mais relacionada à profundidade em que se encontra o lençol d'água do que à existência de um determinado tipo de clima ou de solo. Relacionam-se, também, os campos às condições topográficas, sendo típicos de áreas em que o relevo é, em geral, suave, tendo uma relação muito estreita com a topografia, pois, nas áreas em que predomina a cobertura de gramíneas, o relevo é, quase sempre, suave. (IBGE, 1992)

Para Romariz (1996, p. 19) “numa topografia ondulada, de vales largos e encostas suaves, a vegetação é constituída por uma cobertura herbácea, quase sempre contínua, na qual predominam, pelo número de indivíduos, as gramíneas.” A autora ainda ressalta que “áreas de difícil drenagem são, quase sempre, responsáveis pela presença de campos.” (ROMARIZ, 1996, p. 21).

A coexistência entre campo e cerrado é bastante freqüente. (ROMARIZ, 1996). Nas regiões de aforamentos do lençol freático, ou onde este é mais próximo da superfície a presença de gramíneas de raízes curtas é privilegiada enquanto que em regiões onde o lençol é mais profundo, o cerrado, com suas árvores de raízes profundas, prevalece.

Acrescido a essas características levantadas o fato de o tipo de solo desta bacia ser o Latossolo Vermelho-Amarelo, bastante estável sob condições de preservação, é notável que esta sub-bacia apresente características de aporte de sedimentos e de dispersão de macrófitas muito mais comedidas e controladas que a anterior cuja declividade é mais acentuada ao longo dos cursos d’água e cuja vegetação original não existe mais.

Na Tabela 4 pode-se perceber quantitativamente os tipos de cobertura existentes nas sub-bacias piloto. Nota-se claramente o contraste existente entre os tipos de cobertura nas duas sub-bacias.

Tabela 4: Dados Referentes aos Diferentes Tipos de Cobertura Levantados nos Mapas.

Vegetação	Bacia do Ribeirão Bonito		Bacia do Ribeirão dos Remédios	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Campo	359.5	23.0	-	-
Fazenda	11.8	0.8	-	-
Cerrado	1187.6	76.2	103.7	1.6
Pasto	-	-	6586.5	98.0
Eucalipto	-	-	28.5	0.4

7.5. Diagnóstico do Reservatório de Barra Bonita

Neste ponto é necessário levantar a importância da cobertura vegetal para o controle do aporte de sedimentos e nutrientes ao reservatório gerando um quadro de desequilíbrio ambiental. Isso foi bastante perceptível pela análise das sub-bacias piloto, nas quais o contraste entre a cobertura se refletiu sobre os indicadores em análise.

A cobertura vegetal tanto pode ser natural quanto artificial ou cultural, como as plantações. “Em todos os casos o solo dispõe de certa cobertura que exerce uma ação, maior ou menor, de proteção contra as intempéries. Entretanto, pode-se considerar que as relações de equilíbrio, existentes entre a vegetação primitiva e o solo (...) apontam este tipo de cobertura vegetal como a de maior ação de proteção.” (JORGE e UEHARA, 1998, p. 103).

Para Jorge e Uehara (1998) o desmatamento é considerado uma alteração drástica no equilíbrio do balanço hídrico de uma região, proporcionando um aumento significativo do escoamento superficial e da infiltração, já que mais água atinge diretamente o solo. É provável que, com o tempo, a infiltração sofra redução, tendo em vista a perda da serrapilheira e dos horizontes superficiais, mais porosos, dos solos, o que acabaria por se refletir num aumento ainda mais notável do escoamento superficial.

Pela Tabela 5 é possível perceber que as principais diferenças entre as bacias analisadas são o tipo de solo, a cobertura vegetal e a declividade.

Tabela 5: Quadro Comparativo entre as Características Predominantes das Sub-Bacias Piloto.

Características Predominantes	Ribeirão dos Remédios	Ribeirão Bonito
Solo	Argilossolo Vermelho-Amarelo	Latossolo Vermelho-Amarelo
Relevo	Patamar Oriental da Bacia do Paraná	Patamar Oriental da Bacia do Paraná
Potencial Agrícola	Restrito	Restrito
Declividade	0 a 6%	6 a 15%

Segundo Jorge e Uehara (1998, p. 104) as características físicas de uma bacia “são definidas pelas características morfológicas, representadas pelo tipo de relevo, forma, orientação e declividade da bacia de drenagem e pelos aspectos geológicos, representados

pelas estruturas, tipos litológicos, mantos de intemperismo e solos. Além desses aspectos, a cobertura vegetal e o tipo de ocupação da bacia exercem também uma influência importante nas relações entre infiltração e escoamento superficial em uma bacia de drenagem.”

A cobertura vegetal se faz necessária para estabilizar o solo, sendo responsável pelo controle das características negativas deste na ausência dela. Além disso, a diminuição do arraste de sedimentos se faz pelo aumento da infiltração com consequente diminuição do escoamento superficial, grande responsável pela desagregação das partículas sólidas. Outro quesito ainda envolve a fixação e assimilação dos nutrientes pelas plantas, fazendo com que estes não venham adentrar ao corpo do reservatório provocando um *boom* de plantas aquáticas.

O arraste de sedimentos nessas bacias e sub-bacias e o indubitável uso de agrotóxicos e fertilizantes nas plantações acrescido o uso do solo sem as considerações adequadas de sua vocação natural, a ausência de cobertura vegetal e a presença de áreas de preservação permanente (APP) descontínuas e pouco preservadas, acaba por carrear ao reservatório os nutrientes presentes nesses produtos químicos, os quais provocam um desequilíbrio na comunidade de macrófitas, ocasionando sua dispersão descontrolada evidenciada pela Figura 8 e pela Figura 9.

8. CONCLUSÃO

A análise efetuada em cada sub-bacia piloto permitiu destacar os deflagradores que demandam mais atenção dentro das grandes bacias contribuintes ao reservatório (bacias do Piracicaba e Tietê) com vistas à implantação prioritária de medidas preventivas e corretivas de combate à erosão.

O método enfocado às sub-bacias contribuintes pode ser utilizado para identificar áreas prioritárias à intervenção no sentido de aperfeiçoar o uso das terras, recuperar áreas degradadas que podem ser identificadas, reflorestar áreas de nascentes e margens dos rios, reduzir a aplicação de defensivos agrícolas, visto que a presença de macrófitas é um indicador desse quesito e pode ser mapeada, minimizar os processos erosivos já que mapeia o aporte de sedimentos, consequência dessa perda de solos, dentre outras práticas que

venham diminuir as fontes difusas de poluição e, consequentemente, assegurar melhor qualidade da água.

Os SIG utilizados se provaram como ótimas ferramentas de análise e cruzamento de dados, auxiliando na obtenção de resultados tanto qualitativos quanto quantitativos.

O sensoriamento remoto provou-se como uma ferramenta bastante interessante para análise qualitativa da qualidade da água se mostrando bastante eficiente no mapeamento de manifestações de grande porte aos indicadores analisados (macrófitas e sedimentos suspensos), o que talvez não seria o mesmo em manifestações pequenas devido ao tamanho do pixel da imagem de satélite. Entretanto, o método provou-se eficiente para a identificação de pontos chave para amostragem direta da qualidade da água.

Outro quesito interessante do sensoriamento remoto é o referente aos baixos custos marginais dos produtos desta técnica. Diversos produtos globais e regionais podem ser distribuídos potencialmente sem custos para os usuários. Desta forma, os produtos obtidos por sensoriamento remoto podem ter ótima relação custo/benefício para o monitoramento ambiental. (KAMPEL & NOVO, 2008).

Durante o decorrer da pesquisa bibliográfica foi possível perceber que, contrariamente ao proposto por Galo *et al* (2002), talvez a composição RGB utilizada (*red 5, green 4 e blue 3*) para as bandas das imagens Landsat 5, não seja ainda a ideal para a análise da qualidade de águas. Seria interessante que um estudo comparativo entre diferentes composições fosse realizado em outro trabalho de modo a fornecer subsídios a futuras análises na mesma linha de pesquisa.

Levando em conta as características de potencial agrícola, cobertura vegetal e pedologia, é possível inferir que o reservatório de Barra Bonita como um todo continuará a receber um significativo aporte de sedimentos em períodos chuvosos provenientes de sub-bacias com características similares às da bacia do Ribeirão dos Remédios, ou seja, sub-bacias que apresentam declividades moderadas ao longo dos cursos d'água e cuja cobertura vegetal original foi substituída por algum tipo de atividade agropastoril, isso sem contar com a grande contribuição proveniente das bacias do Piracicaba e do Tietê já bastante antropizadas.

Uma visita ao reservatório mostrou que os problemas de assoreamento e macrófitas são realmente alarmantes à empresa gerenciadora da barragem. É constante a

presença de dragas que retiram os sedimentos do fundo da barragem para comercializá-los e recentemente o reservatório teve que sofrer um rebaixamento de seu nível d'água para permitir que o acúmulo de macrófitas fosse liberado e não prejudicasse em demasia a geração de energia.

Um prognóstico para o reservatório em questão, utilizando-se de uma extração das características levantadas para as sub-bacias piloto às grandes bacias contribuintes ao reservatório (bacias dos rios Tietê e Piracicaba), aponta para o seu assoreamento contínuo, principalmente em períodos chuvosos e a contínua presença em demasia de plantas aquáticas marginais emergentes evidenciando um quadro de desequilíbrio ambiental.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AES TIETÊ; Consulta ao sítio digital <http://www.aestiete.com.br/> em julho de 2010.

ALMEIDA, F.F.M.; MELO, M.S. **A Bacia do Paraná e o Vulcanismo Mesosóico in Mapa Geológico do Estado de São Paulo – Escala 1:500 000.** Volume 1. Divisão de Minas e Geologia Aplicada: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: São Paulo p. 83 – 97, 1981.

BARTORELLI, A.; HARALYI, N. **Geologia do Brasil** in OLIVEIRA, A.M.S., BRITO, S.N.A. (Editores) **Geologia de Engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 57 – 68, 1998.

BRAGA, C.Z.F.; NOVO, E.M.L.M.; KRUG, T. **Considerações Sobre a Modelagem Empírica de Variáveis Limnológicas no Reservatório de Barra Bonita Utilizando Dados Landsat 5 TM.** Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 85 – 93, 1993.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J.; MITSUO, F. **SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS by Objectoriented Data Modelling.** National Institute for Space Research: Image Processing Division, 1996.

DUARTE, P. A. **Cartografia Básica**, Ed UFSC, Florianópolis, 1999.

DE BIASI, M. **Geomorfologia.** Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, v.21, 1970.

GALO, M.L.B.T.; VELINI, E.D.; TRINDADE, M.L.B.; SANTOS, S.C.A. **Uso do Sensoriamento Remoto Orbital no Monitoramento da Dispersão de Macrófitas nos Reservatórios do Complexo Tietê.** Planta Daninha: Viçosa: Minas Gerais. V. 20, p 7-20, 2002.

GRACIANI, S. D. **Distribuição Espacial e Temporal de Macrófitas Aquáticas em Reservatórios Tropicais.** XV Curso Internacional em Sensoriamento Remoto: INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos – SP, 2002.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira.** Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro. 1992.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia.** Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. 2007.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Fundamentos de Geoprocessamento** – Transparências in Curso de Curta Duração “Fundamentos de

Geoprocessamento”, DPI – Divisão de Processamento de Imagens. São José dos Campos – SP, 2004.

JORGE, F.N.; UEHARA, K. **Águas de Superfície** in OLIVEIRA, A.M.S., BRITO, S.N.A. (Editores) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 101 – 110, 1998.

KAMPEL, M.; NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto da Cor da Água** in SOUZA, R.B. (Org) **Oceanografia por Satélites**. Oficina de Textos, p. 199 – 218, 2008.

KERTZMAN, F.F.; DINIZ, N.C. **As Abordagens de Solos Utilizadas na Geologia Aplicadas ao Meio Ambiente** in BITAR, O.Y. (Coord) **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia, 1995.

LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LIMA, J. P.; LOPES, S. B.; ZANCHETTA, F.; ANELLI, R. S.; FERNANDES JR, J. L. **Uso de SIG para gerência de infra-estrutura de transportes: estudo de caso em São Carlos - SP, Contribuições para o desenvolvimento sustentável em cidades portuguesas e brasileiras**, p. 146 – 159, 2005.

LIPORACI, S. R. **Sistemática de estudos integrados multitemporais sobre o meio ambiente visando ao planejamento ambiental do Município de Poços de Caldas - MG**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 193 p, 1999.

LOPES, J. E. G.; SANTOS, R. C. P. **Capacidade de Reservatórios**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária: Universidade de São Paulo: São Paulo, 2002.

MARQUES FILHO, P.L.; GERALDO, A. **Barragens e Reservatórios** in OLIVEIRA, A.M.S., BRITO, S.N.A. (Editores) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 397 – 418, 1998.

MÜLLER, A. C. **Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Makron do Brasil. São Paulo – SP, 1996.

NOERNBERG, M. A. **Discriminação de plantas aquáticas utilizando dados SAR multipolarimétricos na Banda C**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos – SP, 1996.

OLIVEIRA, A.M.S **Assoreamento em Cursos e Corpos D'Água** in BITAR, O.Y. (Coord) **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia, 1995.

PONÇANO, W.L. **Coberturas Cenozóicas in Mapa Geológico do Estado de São Paulo – Escala 1:500 000**. Volume 1. Divisão de Minas e Geologia Aplicada: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: São Paulo p. 83 – 97, 1981.

PONÇANO, W.L. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Volume 1. Governo do Estado de São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia: Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais: Companhia de Promoção de Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de São Paulo, 1981².

PORTE, R. La L. (Org). **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1991.

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. **Aplicação de geotecnologias na modelagem do potencial poluidor das sub-bacias de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP relacionado à qualidade da água**, Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, p. 3253-3260, 2005.

REFOSCO, J. C. **Ecologia da paisagem e Sistema de Informações Geográficas no estudo da interferência da paisagem na concentração de Sólidos Totais no reservatório da usina de Barra Bonita, SP**. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, INPE, p. 343-349, 1996.

ROMARIZ, D.A. **Aspectos da vegetação do Brasil**. São Paulo: Edição da Autora, 1996.

SALICHTCHEV, K.A. **Algumas reflexões sobre o objeto e o método da Cartografia depois da Sexta Conferência Cartográfica Internacional**. Seleção de Textos: Cartografia Temática, AGB, São Paulo, p.18, 1988.

SALOMÃO, F.X.T.; ANTUNES, F.S. **Solos em Pedologia** in OLIVEIRA, A.M.S., BRITO, S.N.A. (Editores) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 87 – 100, 1998.

VELINI, E. D.; GALO, M. L. B. T.; CARVALHO, F. T.; MARTINS, D.; TRINDADE, M. L. B.; CAVENAGHI, A. L.; SANTOS, S.C.; SIMIONATO, J. L. A. **Monitoramento dos Problemas com Plantas Aquáticas em Dez Reservatórios dos Rios Tietê, Grande, Pardo e Mogi-Guaçú**. Planta Daninha: Viçosa: Minas Gerais. V. 20, 2002.

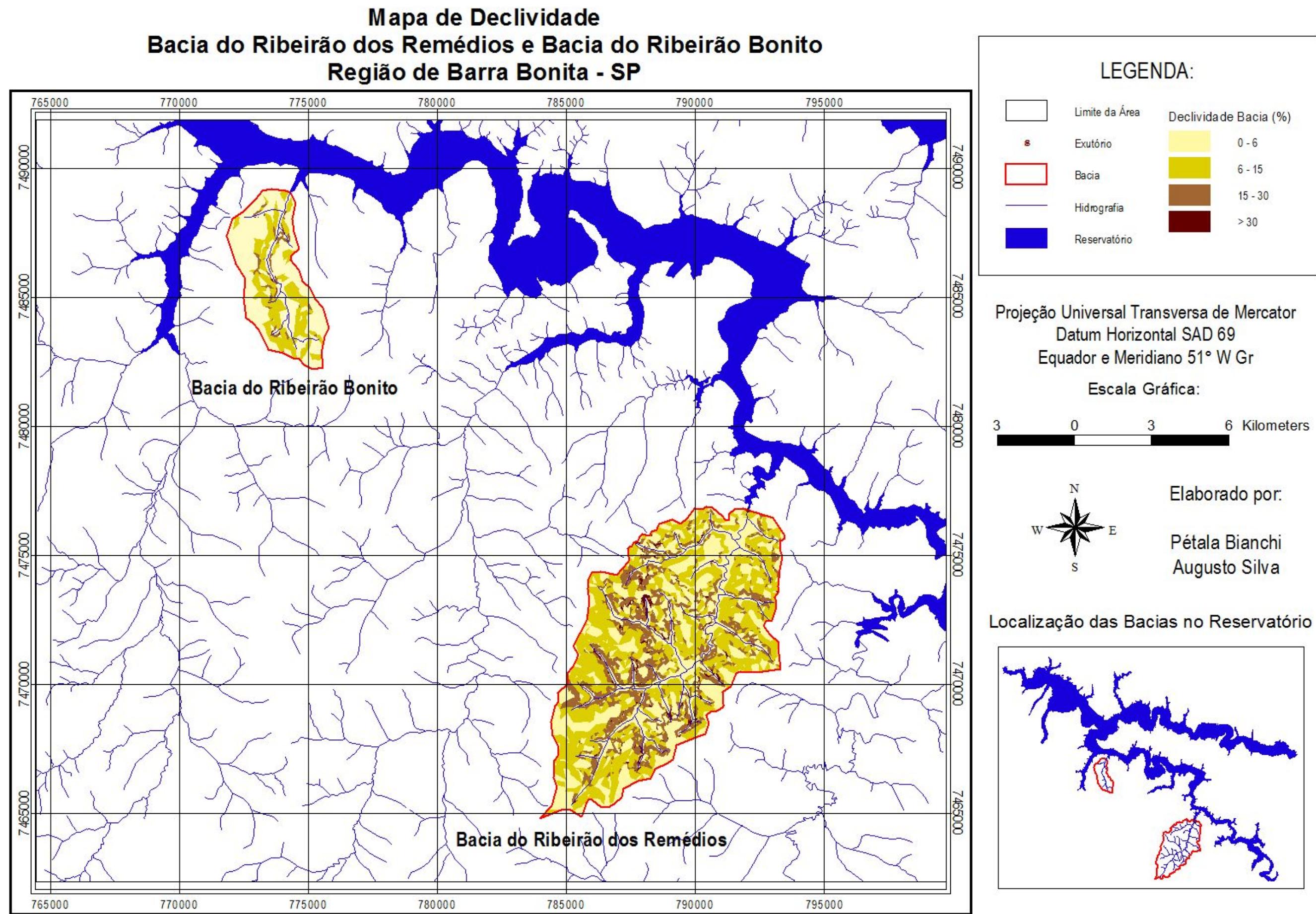
VELÁZQUEZ, V.F.; GOMES, C.B.; CAPALDI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; KAWASHITA, K.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M. **Magmatismo Alcalino Mesosóico na Porção Centro-Oriental do Paraguai: Aspectos Geocronológicos.** Geochim p. 23 – 35, 1992.

ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, S. **Cartografia Geotécnica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

ZUQUETTE, L.V; NAKAZAWA, V.A. **Cartas de Geologia de Engenharia** in OLIVEIRA, A.M.S., BRITO, S.N.A. (Editores) **Geologia de Engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 283 – 300, 1998.

10. APÊNDICES

APÊNDICE I: Mapa de Declividade das Bacias. Barra Bonita (SP).



APÊNDICE II: Mapa de Vegetação das Bacias. Barra Bonita (SP).

