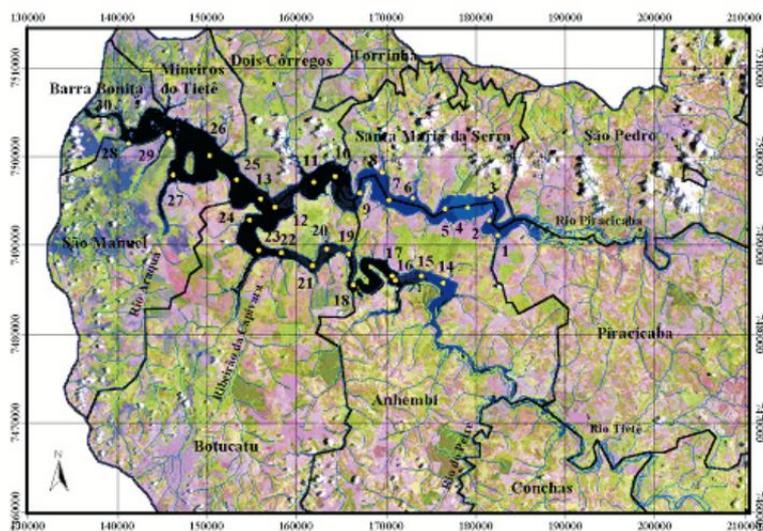


Uso e Cobertura da Terra: Mudanças no
Espaço e no Tempo na Bacia Hidrográfica de
Contribuição para o Reservatório de
Barra Bonita - SP



ISSN 1678-0892

Dezembro, 2007

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 112

Uso e Cobertura da Terra: Mudanças no Espaço e no Tempo na Bacia Hidrográfica de Contribuição para o Reservatório de Barra Bonita - SP

*Rachel Bardy Prado
Evelyn Márcia Leão de Moraes Novo*

Rio de Janeiro, RJ
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ
Fone: (21) 2179-4500
Fax: (21) 2274.5291
Home page: www.cnps.embrapa.br
E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Aluísio Granato de Andrade

Secretário-Executivo: Antônio Ramalho Filho

Membros: Marcelo Machado de Moraes, Jacqueline S. Rezende Mattos,
Marie Elisabeth C. Claessen, José Coelho de A. Filho, Paulo Emílio
F. da Motta, Vinícius de Melo Benites, Rachel Bardy Prado, Maria
de Lourdes Mendonça S. Brefin, Pedro Luiz de Freitas.

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Revisor de Português: *André Luiz da Silva Lopes*

Normalização bibliográfica: *Marcelo Machado Moraes*

Editoração eletrônica: *Pedro Coelho Mendes Jardim*

1ª edição

1ª impressão (2007): online

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

631.47

P896 Prado, Rachel Bardy.

Uso e cobertura da terra: mudanças no espaço e no tempo na bacia hidrográfica de Contribuição para o reservatório de Barra Bonita - SP / Rachel Bardy Prado, Evelyn Mônica Leão de Moraes Novo - Dados eletrônicos. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892 ; 112)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>>

Título da página da Web (acesso em 6 set. 2007).

ISSN 1678-0892

1. Cobertura do Solo. 2. Uso da Terra. I. Moraes Novo, Evelyn Mônica Leão de. II. Embrapa. III. Título. IV. Série.

© Embrapa 2007

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
1. Introdução	9
2. Objetivo	11
3. Área de Estudo	11
4. Material e Métodos	18
4.1 Trabalho de campo	19
4.2 Aquisição e processamento de dados de Sensoriamento Remoto ..	19
4.2.1 Pré-processamento de imagens de satélites	19
4.2.1.1 Correção atmosférica	20
4.2.1.2 Registro e equalização de imagens	20
4.2.1.3 Mosaico de imagem	21
4.2.1.4 Seleção de bandas a serem utilizadas no processamento de	
imagens	21
4.2.2 Processamento de imagens de satélites	22
4.2.2.1 Segmentação	22
4.2.2.2 Classificação	22
4.2.2.3 Mapeamento	22
4.3 Aquisição de dados censitários agrícolas	23
5. Resultados e Discussão	23
5.1 Dados obtidos em campo	23
5.2 Dados obtidos pela aplicação de Sensoriamento Remoto	30
5.3 Dados censitários agrícolas obtidos	40
6. Conclusões	43
7. Agradecimentos	44
8. Referências Bibliográficas	44
9. Anexos	49

Uso e Cobertura da Terra: Mudanças no Espaço e no Tempo na Bacia Hidrográfica de Contribuição para o Reservatório de Barra Bonita-SP

Rachel Bardy Prado¹

Evelyn Márcia Leão de Moraes Novo²

Resumo

O uso e a ocupação da terra de forma não planejada, tanto no meio urbano como rural, têm acelerado o processo de degradação ambiental. Pode-se destacar o desmatamento de áreas preservadas e matas ciliares, o empobrecimento do solo e o aumento da erosão, o assoreamento dos rios e as consequentes enchentes, a diminuição da biodiversidade e o desequilíbrio dos ecossistemas terrestres e aquáticos, dentre outros. A interferência antrópica no ambiente ocorre de forma muito dinâmica e, para acompanhá-la, é preciso dispor de tecnologias eficientes, dentre as quais se destaca o sensoriamento remoto. Neste sentido, o presente estudo teve como propósito avaliar a dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita no espaço e no tempo. Para tal foram utilizadas imagens dos sensores TM - Landsat 5 e ETM+ - Landsat 7 referentes a 1990 e 2002, respectivamente. Estas imagens foram processadas utilizando o Spring 3.6 e aplicando uma classificação supervisionada. O classificador utilizado foi do tipo por regiões, sendo o método denominado *Bhattacharya Distance* com um limiar de aceitação de 90%. Desta forma

¹ Pesquisadora Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico 1024 - Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ.
CEP: 22460-000, Email: rachel@cnps.embrapa.br.

² Pesquisadora Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos - SP, Caixa Postal 515 - CEP: 12201-970, Email: evlyn@tid.inpe.br.

foram obtidos os mapas de uso e cobertura da terra para 1990 e 2002, a partir dos quais foi possível calcular a área para 11 classes de uso e cobertura da terra e verificar as alterações ocorridas ao longo deste período. Utilizando o banco de dados SIDRA do IBGE, foi possível obter dados de Produção Agrícola Municipal (PAM), de área plantada (em hectares), para culturas permanentes e temporárias da bacia em estudo, para os anos de 1990 a 2002, buscando contemplar a questão temporal. Os resultados desta fase foram importantes para confirmar as tendências observadas nos mapas de uso e cobertura da terra, obtidos em fase anterior. Neste trabalho foi possível identificar ainda locais próximos ao reservatório de Barra Bonita onde o uso inadequado da terra torna-se fonte de poluição difusa dos afluentes do reservatório de Barra Bonita. Estes locais foram georreferenciados em campo, fotografados e identificados no mosaico de imagens de 2002, fortalecendo a discussão dos resultados obtidos. Os resultados mostram ainda que se trata-se de uma bacia bastante antropizada, onde medidas de planejamento devem ser tomadas no sentido de mitigar o processo de degradação ambiental.

Palavras chave: Barra Bonita, reservatório, dinâmica, 1990 e 2002, uso e cobertura da terra.

Land use and land cover: temporal and spatial changes in the Barra Bonita reservoir hydrographic catchment basin - SP

Abstract

Environmental degradation is increasing as a result of the lack of urban and rural land use planning. Among the problems derived from the lack of land use planning we can mention the deforestation of conservation areas, riparian forest soil impoverishment, increasing in soil erosion, river silting, flooding, decreasing in biodiversity, terrestrial and aquatic system unbalance. The human impact on the environment is dynamic and it is necessary efficient monitoring technologies among which remote sensing outstands. In this paper we present a study carried out to assess land use and land cover dynamic in the Barra Bonita reservoir hydrographic catchment basin. TM and ETM+ Landsat images from 1990 and 2002 respectively were used to carry out a supervised classification on the Spring 3.6 image processing tools. The *Bhattacharya Distance* region classifier with a 90 % acceptance level was used to generate land use and land cover maps for 1990 and 2002. The maps were used to compute the area occupied by each of the 11 classes so as to assess land use changes during the period under study. The PAM-IBGE data base was then used to gather information on the area of both temporary and permanent crops (in ha) for each municipality for 1990 and 2002. This data was useful to confirm the trends derived from the land use maps. The maps allowed also to identify areas near the Barra Bonita reservoir which are submitted to inadequate land use and acting. Those areas were

georeferenced on the ground, photographed and located in the 2002 image mosaic to complement the discussion of the results. The results showed a highly impacted basin, where conservation planning actions are urgent so as to mitigate the present environmental degradation.

Key words: Barra Bonita, reservoir, dynamic, 1990 and 2002, land use and land cover.

1. Introdução

O levantamento do uso da terra é de grande importância, na medida em que os efeitos do uso desordenado causam deterioração do ambiente. Os processos de erosão intensos, as inundações, os assoreamentos desenfreados dos lagos e reservatórios são conseqüências do mau uso da terra (SANTOS et al., 1981). Sperling (1998) salienta que a qualidade de uma água é resultante dos inúmeros processos que ocorrem na bacia de drenagem do corpo hídrico e que os organismos aquáticos, em sua atividade metabólica, não só recebem influência do meio, mas podem também provocar alterações físicas e químicas na água.

Existem numerosos estudos que demonstram haver uma alta correlação entre a distribuição espacial das atividades humanas, o estado de conservação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica e o nível de degradação dos recursos HÍDRICOS (THORNTON, 1990; KIRA; SAZANAMI, 1995; TUFFORD et al. 1998). Porém, no Brasil, e principalmente em Barra Bonita, são poucos os estudos relacionando o uso da terra com as propriedades da água. Pode-se citar REFOSCO (1994), PIÃO (1995) e PEREIRA-FILHO (2000).

Sobretudo, é sabido que o ambiente aquático é sensível às interferências que ocorrem na bacia hidrográfica que o abastece. A maioria das atividades antrópicas de uma bacia hidrográfica gera efluentes, os quais, se não dispostos em locais adequados ou tratados, acabam por atingir os cursos d'água, alterando as suas propriedades naturais (KIRA; SAZANAMI, 1995).

Barra Bonita é um reservatório antigo (43 anos) e está localizado numa região de intensas transformações nos padrões de uso e ocupação da terra, o que o torna suscetível a problemas de poluição e assoreamento acelerado. Um fator agravante da situação é a contaminação da água por substâncias químicas, provindas principalmente, de resíduos industriais e agrícolas, como já mencionado anteriormente. O aporte de nutrientes no reservatório é causado, em grande parte, pela entrada dos seus principais afluentes, o rio Tietê e o rio Piracicaba, que transportam descargas domésticas e industriais de

grandes centros urbanos. As bacias destes rios são as mais industrializadas do Estado de São Paulo. ...importante ressaltar que vários rios podem ser os nutrientes que atingem os cursos d'água, porém, é muito comum designar como nutrientes apenas o fósforo e o nitrogênio, visto que são os principais nutrientes causadores do processo de eutrofização da água.

A disponibilidade hídrica e o melhoramento das condições de circulação pelas rodovias após a construção do reservatório de Barra Bonita promoveram ainda a crescente modernização agrícola do seu entorno. Parte da tradicional cultura do café deu espaço ao plantio de cana-de-açúcar, predominante na década de 80, devido também à crise do petróleo e aos incentivos ao cultivo da cana-de-açúcar (PRO-ALCOOL). A modernização da agricultura ocorreu com a aplicação de defensivos agrícolas, o incremento da fertilizante e a intensificação do uso da terra nos municípios do entorno (VALÊNCIO et al. 1999).

Houve uma redução das áreas de vegetação natural (predominantemente cerrado), inclusive matas ciliares, concomitantemente à expansão da cana-de-açúcar. Estas áreas foram substituídas, não só pela cana-de-açúcar, mas também, por áreas de reflorestamento, ligadas ao segmento industrial de papel e celulose, instalado na região.

Visto que o reservatório atraiu pessoas em busca de melhores perspectivas, empreendedores e mão-de-obra, é de se esperar que haja também uma atração turística, podendo causar também danos ao meio aquático. Quanto a este aspecto, o reservatório de Barra Bonita tem atraído um grande contingente turístico do Estado de São Paulo, incentivando a implantação de estruturas de grande porte para receber as pessoas na região. Os turistas são atraídos pela propaganda de que se pode desfrutar, neste local, de um trecho do rio Tietê despoluído e repleto de lazer. Esses, entretanto, ignoram, na maioria das vezes, o processo de degradação da água deste reservatório e aceleram ainda mais o mesmo processo, devido à prática de esportes náuticos com potencial poluidor, ocupação das margens do reservatório construindo casas de veraneio, lançando esgoto *in natura* e lixo na água, dentre outras atividades danosas.

Além do turismo e geração de energia elétrica, outras atividades no reservatório de Barra Bonita podem gerar conflitos quanto ao uso da água e impactos negativos, dentre as quais se pode destacar a irrigação, a extração de areia, a navegação (Hidrovia Tietê-Paraná, importante para o Mercosul) e o abastecimento industrial e doméstico. Portanto, medidas de restrição ou disposição adequada de certos usos na bacia hidrográfica em estudo devem ser adotadas, bem como de tratamento e redução de resíduos que atingirem os cursos d'água causando sua poluição. Neste contexto, foi proposto o presente estudo que é parte de uma tese de doutorado (PRADO, 2004).

2. Objetivo

Mapear e obter informações a respeito da dinâmica do uso e cobertura da bacia de drenagem do reservatório de Barra Bonita, SP, a partir do processamento de imagens orbitais (TM/Landsat5 e ETM+/Landsat7), referentes aos anos de 1990 e 2002, respectivamente, de informações obtidas em campo e de dados censitários.

3. Área de estudo

O reservatório de Barra Bonita começou a operar em 1963, sendo formado pelo represamento dos rios Tietê e Piracicaba, contando com a participação de vários afluentes. Constituiu-se no primeiro reservatório (CALIJURI, 1999) a jusante da cidade de São Paulo (aproximadamente 300 km) a formar um complexo de barragens situadas no rio Tietê (figura 1).



Fig. 1. Localização de algumas hidrelétricas do Estado de São Paulo, destacando a Usina Hidrelétrica de Barra Bonita.

Fonte: AES-Tietê, 2004.

Este reservatório foi construído, principalmente, para a geração de energia elétrica. Porém, atualmente, é também utilizado para transporte fluvial (Hidrovia Tietê-Paraná), irrigação, turismo, lazer, pesca, abastecimento urbano e como suporte ao desenvolvimento do complexo industrial da região (figuras 2, 3 e 4).



Fig. 2. Visão panorâmica da barragem e eclusa de Barra Bonita (produção de energia elétrica).

Foto: Rachel Bardy Prado, 2002.



Fig. 3. Estrutura do Hotel Barra Bonita às margens do reservatório (turismo).
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002.



Fig. 4. Cargueiro que transporta cana-de-açúcar e soja, entre outros produtos, por meio da Hidrovia Tietí - Paranapiacaba (transporte fluvial).
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002.

A área de estudo é constituída por parte das bacias hidrográficas Piracicaba/Capivari/Jundiá (BHPCJ) e Tietí/Sorocaba (BHTS), correspondendo a aproximadamente 19.000 km², inserida entre as coordenadas geográficas 21° 54' 20" e 23° 57' 26" Sul e 46° 39' 27" e 48° 34' 52" Oeste. A figura 5 mostra a localização da bacia no Estado de São Paulo e no Brasil, estando em UTM fuso 23 estendido, porque foi a projeção adotada no presente trabalho.

Adotou-se a premissa de que reservatórios a montante dos principais afluentes do reservatório de Barra Bonita exercem um efeito de barreira dos poluentes, sendo as áreas a montante destes desconsideradas neste estudo, acreditando-se que tenham menor influência no processo de entrada de poluentes no reservatório em questão. Trata-se de uma das regiões mais populosas e desenvolvidas do interior do Estado de São Paulo, possuindo aproximadamente, cinco milhões de habitantes, representando 16% da população do mesmo Estado. Os problemas referentes à qualidade da água advindos do uso e cobertura da terra são bastante representativos da realidade de toda a extensão da BHPCJ e BHTS.

Os principais setores industriais da BHPCJ são: eletroeletrônica, química, metalurgia, mecânica, agroindústria e têxtil. Na agricultura, destaca-se o cultivo da cana-de-açúcar em maior escala e da laranja em menor escala. Na BHTS as principais atividades industriais estão relacionadas aos setores da metalurgia, mecânica, alimentícia, química e eletroeletrônica e na agricultura predominam os cultivos de batata, hortaliças, cana-de-açúcar, além do reflorestamento.

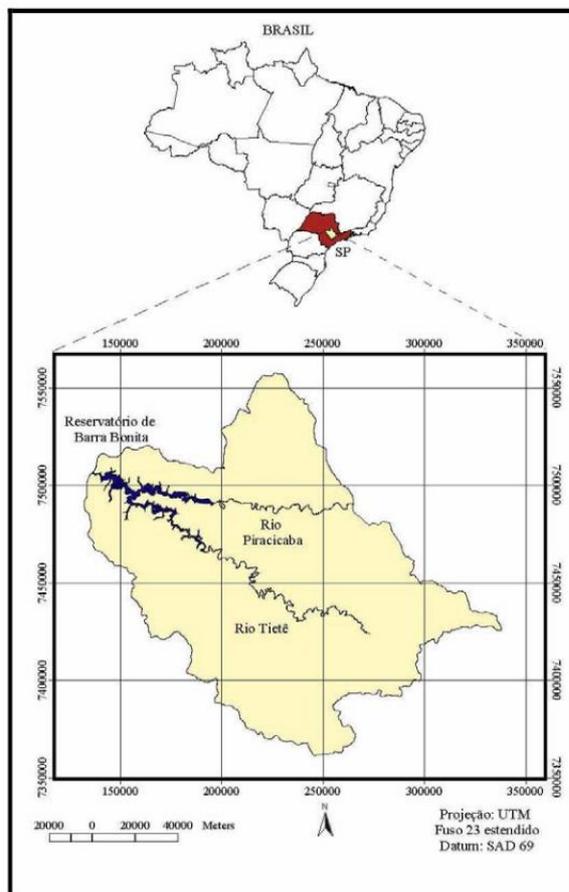


Fig. 5. Localização da bacia hidrográfica em estudo, destacando o reservatório de Barra Bonita e os rios Piracicaba e Tietê.

Tanto a BHPCJ como a BHTS apresentam uma série de problemas ambientais, com destaque para os recursos hídricos, tanto no que se refere à qualidade como à quantidade, havendo conflitos relacionados ao uso dos mesmos.

A BHPCJ, segundo SIGRH (2004), é crítica em termos de disponibilidade hídrica superficial com demandas próximas ao disponível. Aproximadamente 20% de sua vazão média são exportados para a bacia do Alto Tietê e por outro lado, alguns de seus municípios apresentam índice de abastecimento de água abaixo de 80% e outros com índice de perda no sistema de abastecimento acima de 30%.

Quanto aos índices de saneamento, possui uma cobertura de coleta de esgoto sanitário de 76%, sendo apenas 11% tratados. Trata-se ainda de uma área crítica com relação ao risco de poluição das águas subterrâneas, nas regiões de Campinas, São Pedro e seus arredores. Os municípios geram, em conjunto, 1.957,44 toneladas de lixo por dia, dos quais 26% utilizam sistemas adequados, 34% sistemas controlados e 40% sistemas inadequados de disposição de resíduos sólidos.

A qualidade das águas superficiais em longos trechos de seus principais rios apresenta-se degradada, em decorrência da falta de tratamento de esgoto sanitário e da contribuição dos lançamentos de cargas poluidoras remanescentes industriais. A BHPCJ produz aproximadamente 1.957,42 toneladas por dia de resíduos domiciliares, ficando abaixo apenas da bacia do Alto Tietê. O potencial de carga orgânica aumenta ainda mais ao se considerar os resíduos produzidos pelo setor sucro-alcooleiro, predominante na região.

De acordo com SIGRH (2004), a BHTS é prejudicada pela baixa qualidade das águas provenientes da Região Metropolitana de São Paulo. A situação é agravada pela contribuição dos rios Jundiá e Capivari, inviabilizando a utilização do rio Tietê, neste trecho, para abastecimento, irrigação, pesca, entre outros. A BHTS é crítica em termos de disponibilidade hídrica superficial com demandas elevadas devido à irrigação, principalmente no Alto Sorocaba. H conflitos de uso entre a irrigação e o setor industrial no Baixo Sorocaba/Tatuí. Também é crítica com relação ao risco de poluição das águas subterrâneas

na área de recarga do sistema aquífero Guarani, no município de Botucatu e arredores (SIGRH, 2004).

Cinco dos seus municípios apresentam Índice de abastecimento de água abaixo de 80% e 23 com Índice de perdas no sistema de abastecimento acima de 30%. Quanto aos Índices de saneamento, possui uma cobertura de 81%, sendo apenas 12% tratados (SIGRH, 2004).

Em 1998 foram geradas, nesta bacia, 583 toneladas de lixo domiciliar por dia, sendo 32% dispostas em condições inadequadas e 68% em condições controladas (SIGRH, 2001). Verifica-se ainda uma produção de resíduos domiciliares em torno de 582,84 toneladas por dia e uma taxa de remoção da carga orgânica de origem doméstica em média de 12% (SIGRH, 2004). A situação também é agravada pela adição da carga orgânica provinda do setor sucro-alcooleiro.

No que diz respeito aos usos preponderantes da água, a figura 6 mostra a situação do Estado de São Paulo em percentagem e por bacias hidrográficas, podendo ser observado que na BHTS há um predomínio do uso da água para irrigação, e na BHPCJ para o abastecimento doméstico e industrial.



Fig. 6. Usos preponderantes da água nas bacias do Estado de São Paulo com destaque para as BHTS e BHPCJ.

Fonte: SIGRH (2004).

Quanto às características naturais, o clima da região é considerado de transição entre os climas tropical e subtropical e as estações anuais não são bem definidas. Segundo a classificação de Köppen, é do tipo CWA (clima mesotérmico), com inverno seco e verão quente. De forma mais específica, segundo Monteiro (1973), a maior parte da área de estudo pode ser classificada - quanto aos climas zonais, como climas controlados por massas equatoriais e tropicais; quanto aos climas regionais, como climas tropicais alternadamente secos e úmidos (A2); e quanto às feições climáticas individualizadas nos climas regionais, segundo as unidades geomorfológicas, como depressão do Percebé do Tieté (VI).

A respeito dos solos, predominam na bacia os Argissolos, Latossolos e Neossolos. As formações geológicas predominantes são Itararé, Pirambóia, Tatuí e Grupo São Roque. Nas proximidades do reservatório aparecem as formações Botucatu e Serra Geral. Quanto à geomorfologia, destacam-se os Morrotes Alongados e Espigões, Colinas Amplas e Colinas Médias, possuindo a bacia, na maior parte de sua extensão, um relevo pouco movimentado.

Segundo Wisniewski (1998), a vegetação natural foi substituída pela monocultura de cana-de-açúcar, quase que na sua totalidade. Os fragmentos de vegetação remanescentes mais significativos encontram em Unidades de Conservação como: área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí-Botucatu, APA Tieté, APA Jundiá/Cabrêva, Parque Estadual das Monções, área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) da Mata de Santa Genebra, Estação Ecológica (ESEC) Ibicatu, Floresta Nacional (FLONA) de Ipanema e outras.

4. Material e Métodos

Para o levantamento das principais classes do uso e cobertura da terra, no período proposto, bem como para a análise da sua dinâmica e potencial poluidor do reservatório de Barra Bonita, foram utilizadas informações de diversas fontes como imagens de satélite, observações de campo e dados censitários.

4.1. Trabalho de campo

Foi necessário adquirir amostras de treinamento e teste para classificação digital do uso e cobertura da terra e registro de usos com potencial poluidor para a área do reservatório de Barra Bonita.

A partir do mosaico de imagens do Landsat7, recobrimo a área em estudo, obtido por meio de processamento digital no Spring 3.6, foi possível fazer a verificação de campo na área de estudo no ano de 2002. Para isso foram utilizados mapas rodoviários e de uso da terra do Estado de São Paulo, um GPS, um *notebook* e uma caderneta de bordo. Durante esse trabalho de campo foram registrados e caracterizados os tipos de uso e cobertura da terra em 98 pontos amostrais distribuídos ao longo da bacia estudada, durante uma semana. Cada ponto foi descrito, fotografado e localizado sobre a imagem na tela do *notebook* para que se pudesse estabelecer a correspondência entre a imagem e a classe de uso da terra presente no local.

As informações obtidas no trabalho de verificação terrestre e nas amostragens de campo também foram utilizadas, como argumentação no que se refere ao potencial poluidor da bacia de contribuição do reservatório de Barra Bonita quanto à qualidade da água.

4.2. Aquisição e processamento de dados de Sensoriamento Remoto

4.2.1. Pré-processamento de imagens de satélite

Para abranger toda a área de estudo foram necessárias três cenas incompletas do sensor TM do satélite Landsat5 para 1990 e três cenas incompletas do sensor ETM+ do satélite Landsat7 para 2002. As imagens foram selecionadas em função da presença de nuvens, aceitando 35% ou menos da imagem coberta por nuvem. As imagens disponíveis que recobriam a área de estudo foram todas obtidas em período chuvoso, apesar de no período seco a possibilidade de presença de nuvem ser menor. As principais características destas imagens encontram-se descritas na tabela 1.

Tabela 1. Características das imagens de satélite utilizadas no presente trabalho.

Sensor	Órbita/Ponto	Data aquisição	Estação	Hora de passagem	Long central	Lat central	Ângulo Solar
TM	219/76	10/03/1990	charvosa	12:25	-46,53	-23,11	45,49
TM	220/76	12/11/1990	charvosa	12:30	-48,14	-23,11	56,17
TM	220/75	28/01/1990	charvosa	12:53	-47,73	-21,66	50,63
ETM+	220/75	23/12/2002	charvosa	12:58	-47,74	-21,66	60,62
ETM+	219/76	29/10/2002	charvosa	12:52	-46,53	-23,12	61,26
ETM+	220/76	23/12/2002	charvosa	12:58	-48,09	-23,12	60,61

4.2.1.1 Correção atmosférica

Como as imagens utilizadas no presente estudo foram de épocas diferentes, foi necessário fazer a correção atmosférica das mesmas, permitindo assim a comparação entre elas. Alguns métodos de correção atmosférica foram testados como a utilização de ferramenta do software ENVI 3.4 (*calibration utilities*) e do software 6S (VERMOTE et al. 1997). Porém, os resultados obtidos não foram satisfatórios. Este fato pode ser atribuído à presença de nuvens nas imagens, o que altera os resultados. Sendo assim, optou-se pela utilização do método empírico (CHAVEZ JUNIOR, 1988, 1996). Este método consiste em subtrair de cada banda os valores de ND mínimos. Espera-se que os valores de níveis de cinza (ND) mínimos sejam maiores na banda 1, diminuindo até atingir o menor valor na banda 5.

4.2.1.2 Registro e equalização de imagens

Para georreferenciar (registrar) cada imagem, aplicou-se uma transformação polinomial de primeiro grau, obtendo um erro aceitável de menos de um *pixel*, sabendo que o *pixel* possui 30x30m. Tomou-se como referência para o georreferenciamento a base cartográfica que recobre a área na escala 1:250.000. Em seguida foi feita a equalização das diferentes cenas a partir do ajuste de histogramas no ENVI 3.4, tomando como referência o histograma da cena que estava mais nítida e com ausência de nuvens.

4.2.1.3 Mosaico de imagens

A concatenação das três cenas (mosaico) foi feita também no ENVI 3.4, tanto para 1990 como para 2002. Posteriormente, foi extraída a área de estudo por meio de uma máscara utilizando o ENVI 3.4, a partir da importação do Plano de Informação (PI) do Spring 3.6 contendo o contorno da área de estudo. Estas imagens já mosaicadas foram exportadas para o Spring 3.6 visto que a segmentação neste *software* tem se mostrado mais eficiente.

4.2.1.4 Seleção de bandas a serem utilizadas no processamento de imagens

Para cada banda deste mosaico, foi feita uma análise dos valores médios de ND das principais classes de uso e cobertura da terra conhecidas para a região e de seus desvios padrões (a denominação destas classes sofreu pequenas alterações ao longo do processamento das imagens e observação de campo, o que não compromete os resultados obtidos na figura 7 que antecede a classificação). Como as classes foram melhor distinguidas nas bandas 3, 4 e 5, apenas estas bandas foram selecionadas para serem utilizadas no processamento das imagens. Em seguida foi feita uma ampliação linear de contraste das bandas selecionadas para facilitar o processo de segmentação e classificação.

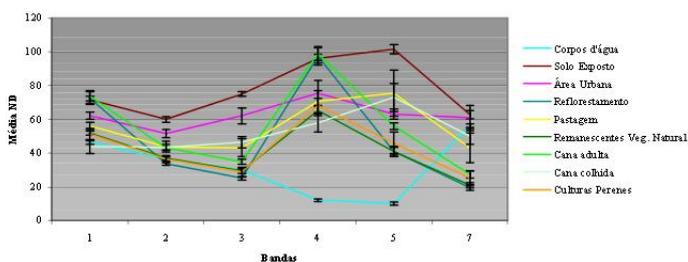


Fig. 7. Valores médios de níveis digitais das classes de uso da terra com seus desvios padrões, para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

4.2.2. Processamento de imagens de satélites

4.2.2.1. Segmentação

Neste processo, anterior à fase de classificação, a imagem é dividida em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Utilizou-se o método de crescimento por regiões implementado no Spring 3.6. Inicialmente testou-se a utilização de pixel 30x30m, porém, como as imagens a serem processadas na segmentação eram grandes, passaram-se dias processando, não se obtendo sucesso. Desta forma, optou-se pela reamostragem para pixels 60x60m, levando em consideração que a escala de trabalho adotada é de 1:250.000. Foram realizados testes em áreas representativas das imagens, alterando os valores dos limiares de similaridade e de área até chegar a um resultado satisfatório. Foram utilizados os limiares de 10 e 20, respectivamente de similaridade e de área. Uma vez obtida a segmentação, passou-se à extração de regiões. Neste procedimento o algoritmo extrai as informações estatísticas de média e variável de cada região, considerando as bandas indicadas no arquivo de contexto.

4.2.2.2. Classificação

A classificação foi escolhida de acordo com sua exatidão em distinguir os alvos da área do presente estudo. No presente trabalho aplicou-se a classificação supervisionada, utilizando 30% das amostras das classes identificadas em campo para o treinamento e 70% para o teste da classificação das imagens de 1990 e 2002. O classificador utilizado foi do tipo por regiões, sendo o método denominado Bhattacharya Distance e o limiar de aceitação de 90%.

4.2.2.3. Mapeamento

Após a classificação das imagens (1990 e 2002), passou-se ao mapeamento, gerando um mapa temático com as mesmas classes de uso da terra obtidas pela classificação (11 classes). Em seguida foi feita a edição matricial a partir da imagem original acoplada, respeitando os limites da segmentação. Porém, no caso das regiões onde as classes estavam muito fragmentadas e misturadas, havendo muita confusão, optou-se pela digitalização de fragmentos maiores, associando a eles a classe predominante. Este fato ocorreu principalmente para as classes: campo/pastagem, cana-de-açúcar, culturas perenes e anuais.

Desta forma, foram obtidos os mapas de uso e cobertura da terra para 1990 e 2002. Posteriormente, foi feito o cálculo de áreas das classes de uso e cobertura da terra para 1990 e 2002, utilizando ferramenta também do Spring 3.6.

Para efeito de comparação das áreas das classes de uso e cobertura da terra de 1990 e 2002, foi necessário gerar uma máscara para a classe nuvem e sombra, inserindo-a em ambos os mapas (1990 e 2002), para que a área desta classe ficasse com o mesmo valor para as duas épocas consideradas.

4.3. Aquisição de dados censitários agrícolas

Utilizando o banco de dados SIDRA do IBGE, disponível na internet, foi possível obter tabelas contendo os dados de Produção Agrícola Municipal (PAM), de área plantada (em hectares), para o total de culturas permanentes e temporárias, de 1990 a 2002, referentes aos municípios selecionados anteriormente, que compõem a maior parte da bacia estudada. Estes dados foram utilizados para mostrar a dinâmica do uso da terra nos municípios que possuem mais de 70% de sua área na bacia de estudo, por meio do cálculo de áreas para estas culturas ao longo do período estudado (1990-2002). Os mesmos foram também úteis para confirmar as tendências observadas nos mapas de uso e cobertura da terra, mapas estes obtidos por meio das imagens de satélite.

5. Resultados e Discussão

5.1. Dados obtidos em campo

No trabalho de campo em agosto de 2002 para verificação terrestre, foram visitados 98 pontos da bacia de estudo (figura 8). Os pontos de amostragem concentraram-se, principalmente, em áreas onde ocorreram mais mudanças no tocante ao uso e cobertura da terra, portanto, em regiões onde o uso se apresentava na imagem de satélite como mais intensivo e diversificado. Neste trabalho de verificação terrestre, foi possível observar, fontes e indicativos de poluição da água que serão descritos a seguir.

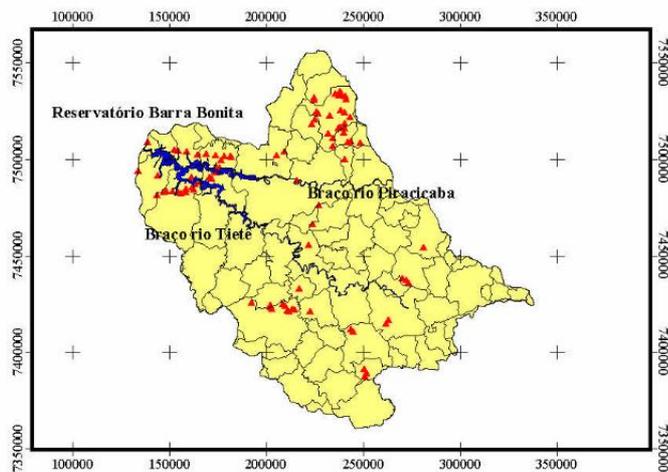


Fig. 8. Mapa da localização dos pontos visitados no trabalho de verificação terrestre na bacia, apresentando a malha municipal e a drenagem principal.

Foram observados vários locais de exploração de areia tanto às margens do reservatório de Barra Bonita quanto às margens de seus afluentes (figura 9). Geralmente esta atividade é realizada sem os devidos cuidados exigidos pela legislação, havendo destruição de vegetação ciliar, depósitos de areia em locais inadequados, sendo esta transportada nas estações chuvosas até o reservatório, provocando o seu assoreamento e comprometendo sua capacidade de armazenamento.

Além da areia, foram identificados vários locais, ao longo da bacia estudada, de exploração de argila, calcário, entre outros. Essas áreas são extensas, provocando a destruição da vegetação natural, sem sinais de trabalhos de recuperação de áreas degradadas (figura 10). Essas áreas, com o solo totalmente exposto, são grandes fontes potenciais de sedimentos, os quais ao serem transportados, via escoamento superficial até os corpos d'água, causam assoreamento e degradação da qualidade da água.

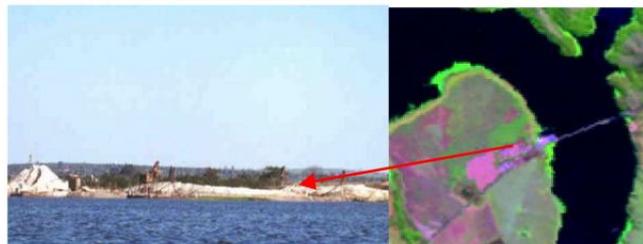


Fig. 9. Exploração de areia às margens do reservatório de Barra Bonita.
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002 e trecho da imagem do Landsat 7, 2002.



Fig. 10. Área degradada devido à mineração.
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002.

Processos erosivos com início de formação de voçorocas, em áreas de pastagens degradadas, foram também observados na bacia estudada (figura 11). Como a pastagem é um dos principais usos da bacia, se essa não for bem manejada, haverá um grande potencial na exportação de sedimentos e nutrientes dos solos até os rios e desses para o reservatório de Barra Bonita. Para agravar a situação, grande parte das margens deste reservatório é utilizada como pastagens, estando essas em contato direto com a água, pois o reflorestamento de matas ciliares não ocorreu a partir da construção do reservatório. Sendo assim, existe também o risco de entrada no reservatório de dejetos gerados pelo rebanho bovino, bem como de nutrientes resultantes da aplicação de herbicidas e fertilizantes nas pastagens, o que pode contribuir ainda mais para o processo de eutrofização.



Fig. 11. Processo erosivo com início de voçorocamento, em áreas de pastagens degradadas.
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002.

Ainda, devido à ausência de mata ciliar, foram observados, às margens do reservatório, vários desmoronamentos (figura 12) em áreas de pastagens, levando grandes quantidades de sedimento para dentro do mesmo.



Fig. 12. Processo erosivo com início de desmoronamento das margens do reservatório, em áreas de pastagens.
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002.

No trabalho de verificação terrestre, foi observado o desmatamento de uma área de eucalipto na borda do Horto de Camacuru, (município de Rio Claro) (figura 13), local próximo a um assentamento de trabalhadores sem terras.

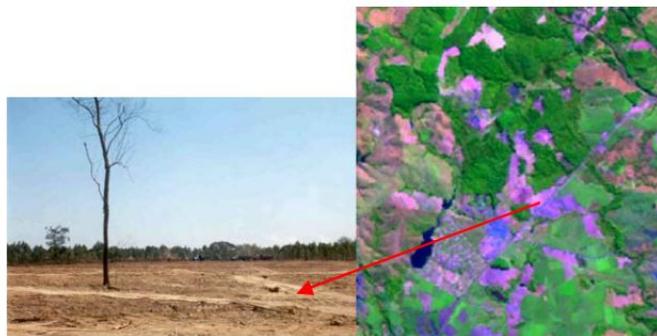


Fig. 13. Desmatamento às margens do Horto de Camacuru, (Rio Claro).
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002 e trecho da imagem do Landsat 7, 2002.

Um outro uso bastante frequente, às margens do reservatório, é o cultivo da cana-de-açúcar, não havendo mata ciliar, como pode ser observado na figura 14. O solo exposto em épocas de preparo para o plantio é transportado rapidamente para o reservatório em situações de chuva, quando não se aplicam os manejos adequados do mesmo.

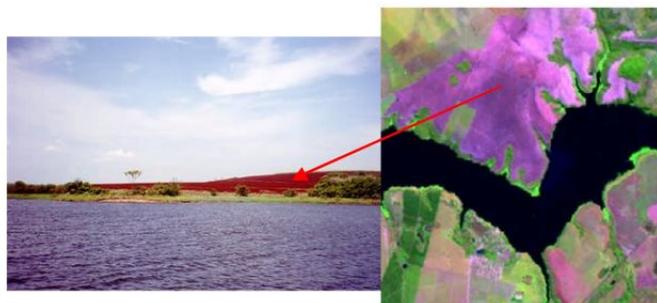


Fig. 14. Solo exposto no plantio da cana-de-açúcar, às margens do reservatório de Barra Bonita.
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002 e trecho da imagem do Landsat 7, 2002.

Com relação à cana-de-açúcar, nas proximidades do reservatório, no município de Barra Bonita, fica instalada a Usina da Barra, uma das maiores da América Latina em produção de álcool. O vinhoto produzido na usina é transportado ainda quente por um sistema de canais até o canalial, onde é lançado na cultura (fertilização) (figura 15). Segundo Zambello e Orlando Filho (1981), para cada litro de álcool produzido são produzidos em média 13 litros de vinhoto. Dos componentes mais importantes de tal resíduo, além de DBO elevada, sobressaem potássio, cálcio, enxofre, nitrogênio e magnésio. Parte dos nutrientes ali contidos é absorvida pela planta, porém, grande parte fica retida no solo, sendo transportada até os corpos d'água no período chuvoso.



Fig. 15. Canais para o transporte de vinhoto das usinas sucro-alcooleiras até os canaliais.

Além das fontes difusas de poluição às margens do reservatório, são consideradas também as fontes pontuais. No entorno do mesmo est., são instalados clubes, hotéis e condomínios de casas de veraneio (figura 16), sem contar as cidades próximas (por exemplo, Santa Maria da Serra), cujo esgoto produzido é lançado *in natura* em um dos afluentes do reservatório de Barra Bonita, contribuindo também para o aumento do processo de eutrofização e, portanto, para a degradação da qualidade da água.

Também foram observados resíduos sólidos depositados às margens dos braços do reservatório em questão, no período de estiagem, quando o nível da água fica mais baixo, principalmente no braço do Tietí, comprovando que os resíduos sólidos lançados na água nos grandes centros urbanos são transportados até este reservatório, sendo ali depositados.

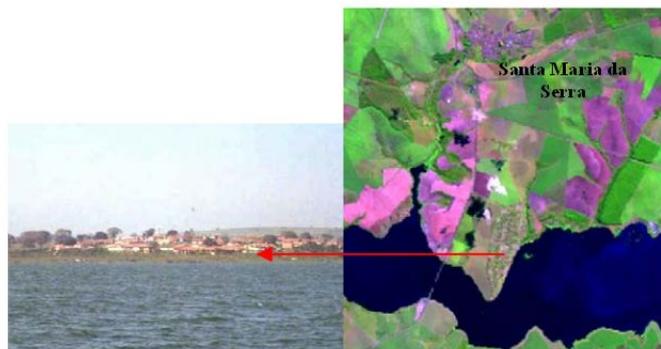


Fig. 16. Condomínio com casas de veraneio instalado às margens do reservatório e proximidade do mesmo de cidades.

Foto: Rachel Bardy Prado, 2002 e trecho da imagem do Landsat 7, 2002.

Como consequência da entrada de nutrientes e do processo de eutrofização do reservatório de Barra Bonita, grandes bancos de macrófitas (figura 17) foram observados, essencialmente nos seus braços, em trechos de curva, onde ocorre deposição de sedimentos e a velocidade da água é reduzida. Quanto à presença e proliferação destas plantas em reservatórios, torna-se necessário um manejo adequado da companhia que o administra, com remoção periódica, para que não haja ainda um comprometimento das estruturas da usina hidrelétrica e da geração de energia (LOPES-FERREIRA, 2000).

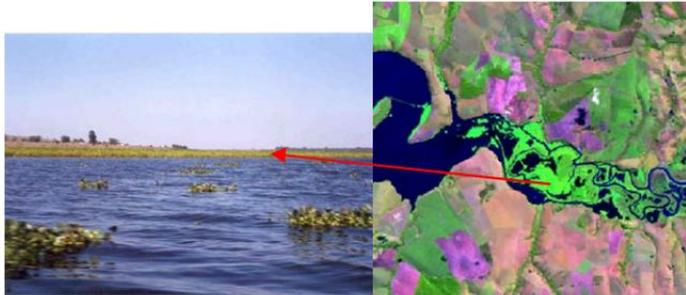


Fig. 17. Banco de macrófitas aquáticas no reservatório de Barra Bonita (il braço Piracicaba). Foto: Rachel Bardy Prado, 2002 e trecho da imagem do Landsat 7, 2002.

5.2. Dados obtidos pela aplicação de Sensoriamento Remoto

A partir da fase de pré-processamento das imagens de 1990 e 2002 (esta última chuvosa), obtiveram-se dois mosaicos, um para cada ano, utilizando uma composição colorida TM5(R), TM4(G) e TM3(B) para 1990 e ETM + 5(R), ETM + 4(G) e ETM + 3(B) para 2002 (figuras 18 e 19). A metodologia de equalização das cenas para cada data, utilizando o *software* ENVI 3.4 foi bastante eficiente, visto que este procedimento suavizou as regiões de contato das cenas.

Mesmo antes da classificação foi possível perceber mudanças por interpretação visual no uso e cobertura da terra entre 1990 e 2002. Observou-se ainda uma grande diversidade de classes fragmentadas e misturadas o que dificultou bastante o trabalho do intérprete nesta escala. Algumas classes apresentaram respostas espectrais muito semelhantes, como por exemplo, a classe cana-de-acúcar (cultura em estágio adulto) e pastagem (vivaz); áreas de várzeas, capoeiras e vegetação secundária; dentre outras, o que dificultou também o processo de classificação. A discriminação das classes de uso pode ser melhorada em estudos que necessitam de maior escala, a partir da integração de informações de aptidão agrícola com dados de sensoriamento remoto adquiridos ao longo do ciclo fenológico das diferentes culturas (GóRTLER, 2003), porém, este não foi o escopo deste trabalho. As marcas

em preto na figura 18 s, os locais visitados em campo, que auxiliaram na fase de treinamento para a classificação das imagens

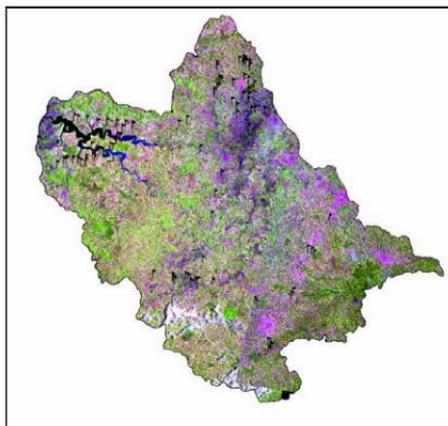


Fig. 18. Mosaico obtidos do pré-processamento das imagens de 1990 (esta, o chuvosa).

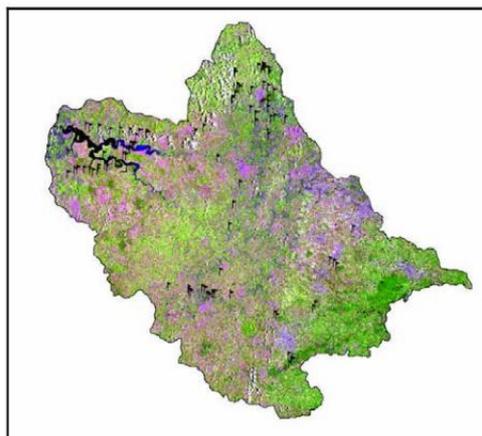


Fig. 19. Mosaico obtidos do pré-processamento das imagens de 2002 (esta, o chuvosa).

Conferindo em campo as classes de uso da terra visualizadas na imagem, foi possível verificar que de acordo com o manejo que se faz nas diversas culturas e pastagens, obtém-se respostas espectrais também diferenciadas. Por exemplo, em uma região onde houve o corte da cana-de-açúcar e o solo ficou exposto ocorre uma resposta espectral distinta de outra região, cuja cana-de-açúcar foi cortada, mas o solo ficou coberto com a palhada (figuras 20 e 21).



Fig. 20 e 21. Solo exposto e solo coberto pela palhada no cultivo da cana-de-açúcar, respectivamente.

Sendo assim, a segmentação foi utilizada visando facilitar a classificação das imagens. Obteve-se um resultado satisfatório utilizando limiares de 10 e 20, de similaridade e área, respectivamente, tanto para 1990 como para 2002. As figuras 22 e 23 mostram um trecho da área de estudo segmentada, abrangendo diferentes classes de interesse, para ambos os anos.

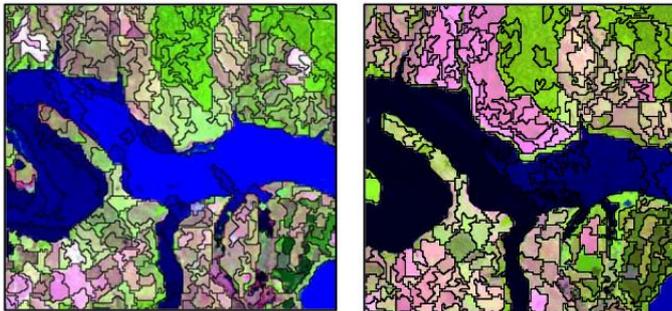


Fig. 22 e 23. Resultado da segmentação das imagens de 1990 e 2002 (estações chuvosas), respectivamente, para um trecho da área de estudo.

Verificou-se que, com os limiares utilizados, a segmentação subdividiu classes homogêneas como é o caso da água do reservatório de Barra Bonita, o que não seria necessário. Mas por outro lado, delimitou bem as classes que possuam pequenos fragmentos como foi o caso da vegetação natural e por este fato foram mantidos. Na classificação supervisionada, utilizando o classificador *Bhattacharya Distance* e as 98 amostras de campo no treinamento, foi obtida uma matriz de classificação, cuja estatística de erros apresentou bons resultados tanto para 1990 como para 2002 (tabela 2).

Tabela 2. Estatística de erros da classificação supervisionada.

Estatística de erros	Imagem 1990	Imagem 2002
Desempenho geral	88,65%	90,65%
Confusão média	8,33%	5,61%
Abstenção média	3,03%	3,74%

Mesmo obtendo bons resultados na matriz de classificação de erros para ambos os anos, comparando os resultados da classificação com as imagens originais, observou-se uma confusão significativa para algumas classes feita pelo classificador, principalmente no que se refere à agricultura onde os valores são menores, seja de culturas anuais ou perenes. Sabendo que realmente algumas classes da área de estudo podem ser passíveis de confusão, que o uso da terra na área de estudo é bastante fragmentado e levando em conta a escala de trabalho regional adotada, optou-se pela delimitação, em tela, de algumas classes de forma homogênea e contínua, na fase de edição matricial.

Ocorre que de fato, em determinadas regiões da área de estudo, há um predomínio de certas classes, como é o caso da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, das pastagens na região de Conchas, da cultura permanente da laranja na região de São Manoel, do reflorestamento na região de Votorantim e Indaiatuba e de outras culturas anuais ou temporárias, além da cana-de-açúcar, na região de Tatuí.

Verificou-se, entretanto, que imagens do Landsat numa escala aproximada de 1:50.000, não são suficientes para diferenciar e quantificar com precisão

classes de uso e cobertura da terra em áreas extensas, com lotes muito fragmentados e misturados, como é o caso da área de estudo. Para tal, seria necessário um trabalho de verificação terrestre bastante exaustivo, com um número muito grande de amostras ou se utilizar fotos aéreas e imagens com resolução espacial melhor e softwares mais robustos como, por exemplo, o *E-Cognition* que permite uma maior interferência do conhecimento do intérprete no processo de classificação. Porém, estes recursos ainda possuem custo elevado, nem sempre podendo ser utilizados em pequenos projetos e teses.

Entretanto, para estudos como o presente, que se proponham a identificar as classes de uso e cobertura da terra, predominantes de uma bacia hidrográfica, para fins de análises multitemporais, gerenciamentos, zoneamentos, em escalas regionais, as imagens do sensor *Thematic Mapper* do Landsat se mostram adequadas.

A partir da classificação supervisionada e edição das imagens do Landsat 5 e 7, referentes a 1990 e 2002, respectivamente, foram obtidos os mapas de uso e cobertura da terra da área de estudo, para ambos os anos, na escala aproximada de 1:250.000. Porém, o layout gerado foi na escala 1:500.000 (no anexo 3).

Também foi realizado um cálculo de áreas para os dois anos no *Spring 3.6*, cujo resultado se encontra na tabela 3. Quanto a percentagem de mudança, os valores positivos indicam expansão da área e os negativos indicam redução de área.

Tabela 3: Áreas das classes de uso e cobertura da terra para os anos de 1990 e 2002.

Classes	Área 1990 (km ²)	Área 2002 (km ²)	Mudança (km ²)	Mudança (%)
Área urbana	996,85	1.286,49	289,64	29,06
Solo exposto	2.486,46	1.804,96	-681,50	-27,41
Pastagem e campo	5.029,54	5.143,73	114,19	2,27
Cana-de-açúcar	4.370,78	4.917,72	546,94	12,51
Cultura temporária	858,51	878,80	20,29	2,36
Cultura permanente	267,85	247,65	-20,20	-7,54
Remanescente de vegetação natural	2.870,76	2.665,05	-205,71	-7,17
Reflorestamento	623,47	581,50	-41,97	-6,73
Macrófitas	32,27	19,23	-13,04	-40,41
Nuvem e sombra	1.290,12	1.290,12	0,00	0,00
Corpo de água	337,82	329,18	-8,64	-2,56
Total:	19.164,43	19.164,43		

Como se observa, trata-se de uma bacia hidrográfica bastante antropizada, abrigando grandes centros urbanos, destacando Campinas, Piracicaba, Sorocaba, Jundiaí, Americana, Indaiatuba, Limeira, Rio Claro, dentre outros, possuindo estas áreas grande potencial poluidor da água, devido ao lançamento de esgoto doméstico e industrial.

Verificou-se uma expansão da área urbana, de 1990 para 2002, de 29,06%, o que corresponde na maioria das vezes a loteamentos implantados em áreas inadequadas, de forma não planejada e sem a infraestrutura necessária, trazendo problemas ambientais e de outras ordens. Houve na década de 90, transferência de várias indústrias, com potencial poluidor, da capital paulista para os municípios do interior do Estado, o que acentuou ainda mais a demanda pelo uso da água nestas regiões, bem como a produção de efluentes líquidos. Segundo Felicidade et al. (2001), o processo de interiorização paulista baseou-se na utilização de múltiplas estratégias de atração da indústria e de modernização da agricultura, ambas requerendo uso intensivo dos recursos naturais, dentre os quais, os hídricos.

Notou-se uma redução bastante significativa das áreas consideradas como a classe solo exposto, de 1990 para 2002. Esta redução pode ser explicada pelo fato de nesta classe estarem agrupados solos permanentemente ou temporariamente expostos. Desta forma, solos expostos durante o plantio de culturas temporárias, com destaque para a cana-de-açúcar, foram detectados pelo sensor do Landsat de forma muito semelhante a um solo permanentemente exposto. E ainda, as cenas que compõem o mosaico de 1990 são dos meses de janeiro, março e novembro. Segundo Moura (2000), que realizou um estudo em áreas comuns à bacia de estudo em questão, os meses de janeiro a março são os meses de plantio da cana-de-açúcar, período em que o solo apresenta-se bastante exposto. Segundo dados de área plantada, obtidos em IBGE (2004), houve uma maior área plantada para culturas temporárias em 1990 em relação a 2002.

Quanto à cana-de-açúcar, obteve-se um aumento da área ocupada por esta classe de 1990 para 2002. Conforme IBGE (2004), realmente houve uma expansão da cana-de-açúcar neste período, tanto para o Estado de São Paulo como para a bacia estudada. Outro fato é que as cenas que compõem o mosaico de 2002 são de outubro e dezembro, no final do corte desta cultura, que se inicia, segundo Moura (2000), em abril. Sendo assim, a cana-de-açúcar cortada no início do período de corte, pode ter brotado e crescido, sendo confundida pelo sensor com a cana-de-açúcar adulta e, desta forma, foi agrupada como tal em 2002. No que se refere a esta cultura, várias dificuldades são encontradas na interpretação da imagem visto que, em determinadas condições, a cana-de-açúcar pode se confundir com a pastagem viçosa como já mencionado anteriormente; que o solo em fases de preparo para o plantio reflete como solo exposto; que o período da colheita é extenso abrangendo meses de ambas as estações, seca e chuvosa e que há monocultivo em determinadas regiões e cultivo em pequenas áreas em outras regiões. E ainda vale ressaltar que a cana-de-açúcar, de acordo com a tabela 14, ocupa a segunda maior área da bacia, sendo menos expressiva apenas que a classe pastagem e campo, correspondendo também à maior área ocupada por culturas, sejam elas temporárias ou permanentes. No sentido de obter maior precisão na discriminação de culturas específicas, vários estudos têm sido desenvolvidos no INPE (SILVA, 1994; EPIPHANIO et al. 1996;

MOURA, 2000; GÜRTLER, 2003), enfatizando a necessidade de se usar séries temporais de imagens durante o ciclo de crescimento da cultura, o que não é o escopo do atual trabalho.

A classe de cultura temporária, abrangendo culturas com plantio, geralmente em pequena escala, incluindo a cana-de-açúcar em pequenos lotes, mas não a cana-de-açúcar intensiva que foi considerada como uma classe à parte, apresentou um ligeiro aumento de 1990 para 2002. Mas, a área ocupada por esta classe fica ainda muito aquém da área ocupada pelo monocultivo da cana-de-açúcar. Em trabalho de verificação terrestre, foi conversar com os pequenos agricultores que relataram que nos últimos anos eles vêm substituindo áreas com outras culturas temporárias pela cana-de-açúcar, sendo a última vendida para as usinas sem muita mão-de-obra e risco de perda de safra.

No caso da classe cultura permanente houve um decréscimo na área em 2002 com relação a 1990. Observou-se em trabalho de campo que a cultura permanente que predomina na bacia estudada é a Laranja, concentrada em determinados municípios. Conforme IBGE (2004), tanto o Estado de São Paulo como a bacia estudada, reduziram suas áreas de culturas permanentes em geral, assim como da cultura da laranja, especificamente, de 1990 para 2002.

A classe remanescente de vegetação natural apresentou uma redução de área no período estudado. Esta classe abrange desde fragmentos florestais ainda existentes na região, incluindo matas ciliares (em diversos estágios de sucessão), assim como vegetação de capoeira, cerrado, campo sujo, várzeas e parques vegetados em áreas urbanas. Estas áreas vêm sendo reduzidas devido à ocupação para expansão de área urbana, pastagens, culturas e reflorestamento. Existem algumas unidades de conservação na área de estudo, contudo a fiscalização pelos órgãos competentes ainda é insuficiente, havendo muitas vezes corte seletivo para madeira. Além disso, é importante ressaltar que em termos de vegetação natural, as áreas aqui apresentadas possivelmente encontram-se superestimadas, visto que as áreas de várzeas já não apresentam mais uma vegetação natural, bem como as matas ciliares, que muitas vezes são detectadas pelo sensor do Landsat, mas parecem não possuir largura e biodiversidade significativas. Contudo, fica evidente que a

Área estudada, como ocorre na maior parte do interior do Estado de São Paulo, encontra-se com um déficit de vegetação natural muito grande.

A classe reflorestamento apresentou também pequena redução de 1990 para 2002. O reflorestamento aparece concentrado em algumas regiões como nos municípios a jusante do reservatório de Barra Bonita (mapas de uso e cobertura da terra em anexo 3), Indaiatuba, Sorocaba, Votorantim, Alumínio, Alambari, dentre outros, estando relacionados, na maioria das vezes, às indústrias de papel e celulose.

As macrófitas aquáticas foram detectadas pelo sensor do Landsat, tanto no reservatório de Barra Bonita como nos seus principais rios formadores, Tietê e Piracicaba, para ambos os anos. No entanto, o ano de 1990 apresentou uma maior área coberta por macrófitas que o ano de 2002. A variação da biomassa destas plantas aquáticas está relacionada a diversos fatores. Thomaz e Bini (1999) destacam cinco fatores que podem afetar o corpo aquático como um todo, sendo eles: o clima, a geologia, as flutuações dos níveis de água, a área do reservatório e o *pool* regional de espécies.

As datas das passagens do satélite para as cenas que abrangem o reservatório de Barra Bonita, utilizadas neste trabalho foram 12/11/1990 e 23/12/2002, ambas na estação chuvosa, o que pode ter causado uma elevação do nível de água do reservatório. Segundo Petrarco (1995), em ecossistemas artificiais como os reservatórios, a flutuação do nível de água não é caracterizada apenas pelo ciclo pluviométrico, sendo decorrente principalmente do manejo dos mesmos em função da geração de energia. E ainda, o uso e a cobertura da terra na bacia de contribuição para o reservatório de Barra Bonita exercem significativa influência sobre as características da água, o que interfere na variação de biomassa das macrófitas ao longo do tempo.

Quanto à classe nuvem e sombra, foi aplicada uma máscara contendo as áreas cobertas por nuvem e sombra para as duas épocas 1990 e 2002. Este procedimento evita que uma área coberta por nuvem ou sombra em um ano (portanto não identificada), seja contabilizada no outro ano, interferindo de forma equivocada nos resultados de comparação de áreas. Esta classe correspondeu a 1.290,12 km² da área total.

Quanto aos corpos d'água, foi observada também uma redução em sua área de 1990 para 2002, o que provavelmente ocorreu pelas diferenças nos regimes de chuvas desses anos.

Observou-se nos mapas de 1990 e 2002 várias alterações nas classes de uso e cobertura da terra para a área de estudo, o que mostra a dinâmica das atividades antrópicas, podendo influenciar de maneira diferenciada na qualidade da água ao longo do tempo. A figura 24 ressalta algumas das alterações descritas anteriormente em algumas classes de uso e cobertura da terra de 1990 para 2002, como é o caso dos remanescentes de vegetação natural (1), do reflorestamento (2) e das áreas de cana-de-açúcar (3).

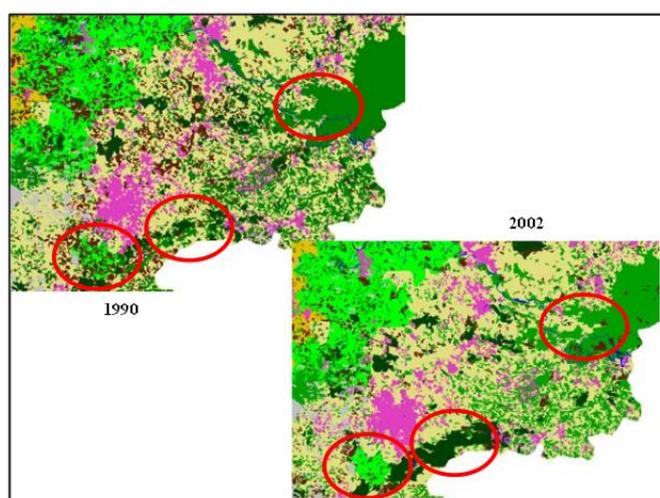


Fig. 24. Alterações no uso e cobertura da terra de 1990 para 2002 em um trecho da bacia hidrográfica em questão.

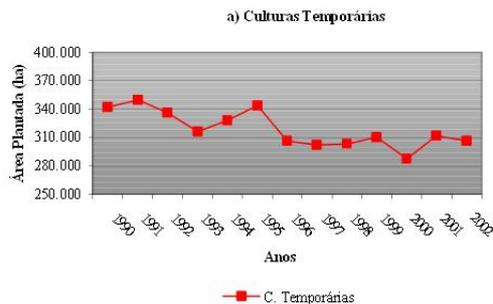
5.3 Dados censitários agrícolas obtidos

A partir dos dados de área plantada (ha) para culturas temporárias e permanentes do PAM (Produto Agrícola Municipal), IBGE (2004), foi possível analisar a variação destas culturas nos municípios com mais de 70% de sua área pertencentes à bacia estudada, de 1990 a 2002. Os dados de área plantada obtidos para culturas permanentes e temporárias foram organizados em tabelas (anexo 1 e 2, respectivamente). Foram gerados gráficos (figuras 25, 26 e 27) com o somatório anual das áreas plantadas (culturas permanentes e temporárias) nos municípios, no período de 1990 a 2002. Também foi calculada a média (M), desvio padrão (SD), média mais desvio padrão (M + SD) e média menos desvio padrão (M - SD) para ambas as culturas (tabela 4).

Tabela 4: Estatística descritiva para as culturas temporárias e permanentes para o período de 1990 a 2002.

Parâmetros avaliados	Culturas temporárias	Culturas permanentes
Média	318.513	34.499
SD	19.315	8.106
M+SD	337.828	42.605
M-SD	299.197	26.393

LEGENDA: SD = Desvio Padrão
M = Média aritmética



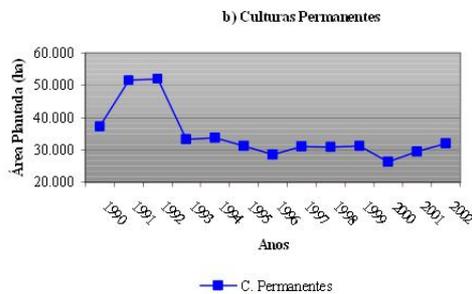


Fig. 25 a e b. - área plantada de culturas temporárias e - área plantada de culturas permanentes, respectivamente.

A figura 25 mostra que as áreas com culturas temporárias são explicitamente muito superiores às áreas com culturas permanentes, predominantemente devido à cana-de-açúcar, e que ambas apresentam uma tendência de redução, no período estudado, apesar dos resultados obtidos para a classe culturas temporárias dos mapas de uso e cobertura da terra (anexo 3) mostrarem o contrário. Todavia, há de se considerar mais uma vez que a classe culturas temporárias adotada nos mapas de uso e cobertura da terra não abrange a cana-de-açúcar intensiva, como faz o IBGE (2004).

Finalmente, verifica-se uma oscilação nítida ao longo do tempo em ambos os casos, apresentando desvios padrões de 19.315 e 8.106 para as culturas temporárias e permanentes, respectivamente (tabela 4).

Observou-se um fato interessante relacionado às culturas permanentes (anexo 1 e figura 27). Em 1991, verificou-se uma elevação brusca na área plantada com relação ao ano anterior, se mantendo em 1992. Porém, em 1993 ocorreu uma queda também brusca, proporcional à elevação. Segundo Carlos Alberto Lauria do IBGE (informação verbal), no ano de 1991 foi plantada uma área bastante extensa de cultura de laranja no município de Indaiatuba, sendo um projeto da Empresa Votorantim Papel e Celulose. No entanto, esta cultura apresentou problemas, sendo abandonada posteriormente.

Fazendo um somatório das áreas plantadas em todo o período, para cada município, tem-se que os municípios com maior somatório de áreas plantadas (acima de 20.000 ha) para culturas permanentes (anexo 1) são: Capela do Alto, Indaiatuba, Jundiaí, Porto Feliz, Rio Claro, Piracicaba, Rio das Pedras e São Pedro ao passo que os municípios com maior somatório de áreas plantadas (acima de 150.000 ha) de culturas temporárias são: Capivari, Piracicaba, Porto Feliz, Monte Mor, Rio Claro e Tatuí. Entretanto, ao se considerar apenas os anos de 1990 e 2002, observa-se que destes municípios, apenas Capela do Alto, Porto Feliz e Rio Claro se mantêm na liderança no caso de culturas permanentes (acima de 2.000 ha por ano) e Capivari e Piracicaba no caso de culturas anuais (acima de 15.000 ha por ano).

Sobretudo, percebeu-se uma intensa dinâmica com relação a essas duas classes de uso da terra nas diversas formas de análise, tanto espacial como temporalmente, o que não se diferencia das outras classes não analisadas neste item, mas contempladas nos mapas de uso e cobertura da terra de 1990 e 2002 (anexo 3). Esta dinâmica se encontra relacionada a fatores naturais como a precipitação, as pragas, a aptidão agrícola das terras, assim como a fatores antrópicos como o preço de mercado interno e externo, a situação econômica do país, os subsídios financeiros e agropecuária, o acesso e tecnologia, a disponibilidade de mão-de-obra, o nível de dificuldade na comercialização do produto, o tipo de manejo que se faz da terra, dentre outros.

E, conseqüentemente, esta dinâmica no uso e cobertura da terra, da bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita, está diretamente relacionada ao processo de transporte e deposição de sedimentos e poluentes no mesmo corpo d'água, pois vai determinar a intensidade dos processos erosivos, da permeabilidade da bacia, da aplicação de defensivos agrícolas, da redução da vegetação natural, da conservação do solo e das margens dos rios e outros.

No trabalho de Bormann et al. (1974), os autores apresentam uma equação para estimar o material particulado que é perdido, por ano, por unidade de área. A equação aplicada à bacia preservada apresentou o resultado estimado, próximo ao resultado medido. Para a área alterada, o valor medido foi

muito maior do que o estimado. Os autores consideraram que a diferença entre o estimado e o medido consiste exatamente nas perdas atribuídas ao aumento de erodibilidade.

Desta forma, percebe-se a importância do planejamento da ocupação das terras, bem como a adoção de técnicas de manejo adequado do solo e da água, da conservação dos pequenos remanescentes de vegetação natural existentes, da recuperação de matas ciliares e de políticas públicas que incentivem o gerenciamento dos recursos hídricos em nível de bacias hidrográficas, de forma integrada e participativa, como forma de reduzir as fontes pontuais e difusas de poluição, assegurando melhor qualidade aos recursos hídricos.

6. Conclusões

O trabalho de verificação terrestre foi importante para obter amostras que foram utilizadas no treinamento do classificador *Bhattacharya Distance* para a classificação supervisionada das imagens. Neste caso, a classificação por regiões foi importante para obter classes mais homogêneas, uma vez que algumas áreas da bacia apresentam o uso bastante fragmentado. Como os pontos onde se obtiveram as informações no campo, sobre o uso e cobertura da terra, foram georreferenciados, foi possível identificar na imagem de 2002 as áreas potenciais quanto à contribuição para a degradação da qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, principalmente as áreas localizadas às suas margens.

As técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas para a obtenção dos mapas de uso e cobertura do solo se mostraram eficientes para uma escala regional. Porém, o tempo e trabalho de processamento foram consideráveis devido à grande extensão da área de estudo, além da fragmentação e mistura das classes terem gerado um certo grau de confusão no processo de classificação.

Com relação especificamente à área plantada para as culturas temporárias e permanentes, verificou-se que as áreas com culturas temporárias são explicitamente muito superiores às áreas com culturas permanentes, predominantemente devido à cana-de-açúcar, que se encontra em expansão na região, como mostram os dados obtidos por meio do PAM (IBGE, 2004).

Sobretudo, os resultados do presente estudo mostraram que têm ocorrido transformações nos padrões de uso e cobertura da terra na bacia estudada, de 1990 a 2002, o cálculo de áreas a partir dos mapas obtidos, indicou que tem ocorrido um processo gradativo de expansão das fronteiras agrícolas e urbanas, comprometendo os remanescentes de vegetação natural e gerando uma carga maior de contaminantes (poluição pontual e difusa) que têm como destino os corpos d'água.

Sendo assim, verifica-se a necessidade de um gerenciamento integrado do solo e da água na bacia em questão, disciplinando as áreas de ocupação, restringindo os tipos de uso, preservando os remanescentes florestais existentes e adotando-se um manejo conservacionista das terras, visando reduzir as fontes de poluição difusa da água do reservatório de Barra Bonita, no interior do Estado de São Paulo.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Processo número 00/102682-1, pelo apoio financeiro e ao centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada CRHEA/EESC/USP/São Carlos, assim como ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo apoio técnico e de infra-estrutura.

8. Referências Bibliográficas

BORMANN, F. H.; LIKENS, G. E.; SICCAMA, T. G.; PIERCE, R. S.; EATON, J. S. The export of nutrients and recovery on stable conditions following deforestation at Hubbard Brook. **Ecological monographs**, v. 44, p. 255-277, 1974.

CALIJURI, M. C. **A comunidade fitoplanctônica em um reservatório tropical (Barra Bonita, SP)**. 1999. 211p. Tese (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

CHAVEZ JR., P. S. An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.

CHAVEZ JR., P. S. Image-Based Atmospheric Corrections Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering e Remote Sensing*, v. 62, n° 9, p.1.025-1.036, 1996.

EIPHANIO, J.C.N; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto na cultura do feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

FELICIDADE, N.; VARGAS, M. C.; MIRANDA, C. O. O processo de interiorização do desenvolvimento e suas implicações ao acesso e uso da água pelo cidadão: desafios econômicos, sociais e político-institucionais do caso paulista. In: FELICIDADE, N.; MARTINS, R. C. ; LEME A.A.(Org.). *Uso e Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil*. São Carlos: Editora RIMA, 2001. Cap.13, p. 224-236.

GÜRTLER, S. (2003). Estimativa de área agrícola a partir de sensoriamento remoto e banco de pixels amostrais. São José dos Campos, SP. 179 p. Dissertação (Mestrado) - Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática, Produção Agrícola Municipal. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam>> Acesso em: 05 jul. 2004.

KIRA, T.; SAZANAMI, H. Utilização de recursos hídricos e problemas de gerenciamento de lagos. In: HASHIMOTO, M. (ed.). *Diretrizes para o gerenciamento de lagos*. Otsu: ILEC/UNEP,1995. v. 2, 6 p.

LOPES- FERREIRA, C. Estudo de uma área alagada do rio Atibaia visando a elaboração de proposta de manejo para melhoria da qualidade da água no reservatório de Salto Grande (Americana, SP). 2000. 145 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MONTEIRO, C. A. de F. A dinâmica climática e as chuvas do Estado de São Paulo: estudo geográfico sob forma de atlas. São Paulo: IGEOG/USP, 1973.

MOURA, V. Imagens multitemporais TM-Landsat5 da época de pré-plantio na estimativa de áreas destinadas a culturas de verão. 2000. 116 p. Dissertação (Mestrado) - Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

PEREIRA-FILHO, W. Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do reservatório de Tucuruí – Pará. 2000. 138p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PETRARCO, P. (1995). Determinação da biomassa e estoque de nitrogênio e fósforo de *Polygonum spectabile* Mart. e *Paspalum repens* Berg da represa de Barra Bonita (SP). 1995. Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PIÃO, A. C. S. (1995). Transporte de nitrogênio, fósforo e sedimentos pelo Ribeirão dos Carrapatos município de Itai, SP, sua relação com usos do solo e outros impactos antropogênicos e a sua deposição no braço do Taquari (Represa de Jurumim). 1995. 194 p. Tese (Doutorado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ZAMBELLO, J. E.; ORLANDO FILHO, J. Adubação da cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil. Boletim Técnico 3. Araras: Planalsucar, 1981. p. 5-26.

PRADO, R. B. Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos. 2004. 172 p. Tese (Doutorado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

REFOSCO, J. C. Estudo comparativo da paisagem das bacias hidrográficas dos rios Araguá e da Prata. Modificações da paisagem e impactos na quantidade de material em suspensão no ambiente aquático. 1994. 101 p. Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SANTOS, A. P.; FORESTI, C.; NOVO, E. M. L.M.; NIERO, M.; LOMBARDO, M. A. (1981). Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicação no uso da terra. São José dos Campos: INPE, 1981. 61p.

SIGRH (2001). Sistema de Informação para Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Plano estadual de Recursos Hídricos. Banco de Dados. Disponível em: < <http://www.sigrh.gov.br> > Acesso em: 05 jul. de 2004.

SILVA, H. R. Técnicas de geoprocessamento na estimativa das culturas de verão. 1994. 161 p. Dissertação (Mestrado) - Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

SPERLING, E. V. Qualidade da água em atividades de mineração. In: DIAS, L. E. e MELLO, J. W. V. (eds.). Recuperação de áreas degradadas. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 95-105.

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. A expansão das macrófitas aquáticas e implicações para o manejo de reservatórios: um estudo na Represa de Itaipu. In: HENRY, R. (Ed.). Ecologia de reservatórios: Estrutura, função e aspectos sociais. Rio Claro: UNESP, 1999. Cap. 20, p. 599-625.

THORNTON W. K. Perspectives on reservoir limnology. In: THORNTON K. W., KIMMEL B. L. e PAYNE F. E. (Eds) Reservoir Limnology: Ecological Perspectives. New York: John Wiley e Sons, 1990. p. 1-13.

TUFFORD, D. L.; Mc KELLAR JR., H.N.; HUSSEY, J.R. In-stream nonpoint source nutrient prediction with land-use proximity and seasonality. Journal of Environmental Quality, v. 27, n. 1, p. 100-110. Feb. 1998.

VAL NCIO, N. F. L. S.; GONÇALVES, J. C.; VIDAL, K. C.; MARTINS, R. C.; RIGOLIN, M. V.; LOURENÇO, L. C. MENDONÇA, S. A. T.; LEME, A. A. O papel das hidroelétricas no processo de interiorização paulista: o caso das usinas hidroelétricas de Barra Bonita e Jurumim. In: HENRY, R. (Ed.). *Ecologia de Reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. Rio Claro: UNESP, 1999. Cap.7, p.187-218.

VERMOTE, F.; TANRÉ, D.; DEUZÉ, J. L.; HERMA, M.; MORCRETE, J. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: an overview. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, v.35, n. 3, p. 675-232, 1997.

WISNIEWSKI, M. J. S. Distribuição espacial e produção secundária da comunidade zooplânctônica do reservatório de Barra Bonita – SP. 1998. 240p. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Anexos
