

AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DE CONTRIBUIÇÃO PARA O RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA – SP

Rachel Bardy Prado¹
Evlyn M. L. M. Novo²
Madalena Niero Pereira³

¹Embrapa Solos (CNPS)
Laboratório de Geoinformação - LGI
Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, CEP: 22460-000, Rio de Janeiro - RJ
rachel@cnps.embrapa.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Divisão de Sensoriamento Remoto - SERE
Caixa Postal 515, CEP:12201-970, São José dos Campos - SP
evlyn@ltd.inpe.br

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Divisão de Sensoriamento Remoto - SERE
Caixa Postal 515, CEP:12201-970, São José dos Campos - SP
madalena@ltd.inpe.br

RESUMO

O uso e 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 conseqüentes 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 destaca-se 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 com aproximadamente 19.164,43 km², situada no interior do Estado de São Paulo, mais especificamente, entre as coordenadas geográficas 21° 54' 20'' e 23° 57' 26'' Sul e 46° 39' 27'' e 48° 34' 52'' Oeste. Para tal foram utilizadas imagens dos sensores TM - Landsat 5 e ETM+ - Landsat7 referentes à 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 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 Produtividade 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 que se trata de uma bacia bastante antropizada, onde medidas de planejamento devem ser tomadas no sentido de mitigar o processo de degradação ambiental.

Palavras chaves: uso e cobertura da terra, sensoriamento remoto, reservatório Barra Bonita, bacia hidrográfica, PAM.

ABSTRACT

Environmental degradation is increasing as a result of urban and rural land use planning. Among the problems derived from lack of land use planning we can mention the deforestation of conservation areas, riparian forest soil impoverishment, increased soil erosion, river silting, flooding, decreased biodiversity, terrestrial and aquatic system unbalance. The human impact on the environment is dynamic making it 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. This basin cover an area of approximately 19.164,43 km² located in São Paulo State at the coordinates of S 21° 54' 20'' ; S 23° 57' 26'' and W 46° 39' 27'' ; W 48° 34' 52''. 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 IBGE SIDRA 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 as a non point source of pollution to the rivers feeding into it. Those places 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.

Keywords: land use, land cover, remote sensing, Barra Bonita reservoir, basin, PAM.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra é de grande importância, na medida em que os efeitos do seu uso desordenado causam deterioração no ambiente. Os processos de desmatamento e erosão intensos e os assoreamentos e inundações desenfreados de reservatórios e cursos d'água são conseqüências do mau uso e ocupação da terra. Diante do exposto verifica-se que o levantamento do uso da terra, em uma determinada região, torna-se um aspecto fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço e planejamento de políticas públicas. Entretanto, as medidas para o planejamento do uso da terra têm sido, até recentemente, baseadas em informações fragmentadas e desatualizadas sobre os efeitos do uso do solo no ambiente. Isto ocorria porque não existiam registros seguros sobre as condições de uso da terra, devido às dificuldades de acesso à determinadas regiões e custo elevado, não se podendo com isso avaliar as alterações provocadas pelo homem na paisagem natural.

Com o advento e evolução das tecnologias relacionadas ao Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tornou-se muito mais viável em termos econômicos, de tempo de processamento e abrangência da área a ser mapeada, obter informações com um atributo geográfico, calcular áreas com maior facilidade, identificar processos de degradação ambiental intensos, e mapear o avanço de ocupação em áreas de preservação, além de melhorar a qualidade e visualização dos mapas e outros produtos passíveis de serem obtidos por meio de SR e SIG's.

O presente estudo se propõe a avaliar a dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia

hidrográfica do entorno do reservatório de Barra Bonita, no Estado de São Paulo, no período compreendido entre 1990 a 2002. Esta região foi escolhida por se tratar de uma das mais populosas do Estado de São Paulo, onde os padrões de uso e cobertura da terra não são apropriados a um ambiente sustentável. A agricultura é intensiva, com destaque para a cana-de-açúcar, além da presença de grandes centros urbanos com significativos pólos industriais, que na maioria das vezes, se transformam em constantes fontes pontuais e difusas de poluição. O estado insatisfatório de degradação da água do reservatório de Barra Bonita é o reflexo da exploração do território em sua bacia de captação de forma não planejada.

2. ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita, adotada neste trabalho, é constituída por parte das bacias hidrográficas Piracicaba/Capivari/Jundiaí (BHPCJ) e Tietê/Sorocaba (BHTS), correspondendo a aproximadamente 19.164,43 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 1 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. 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.

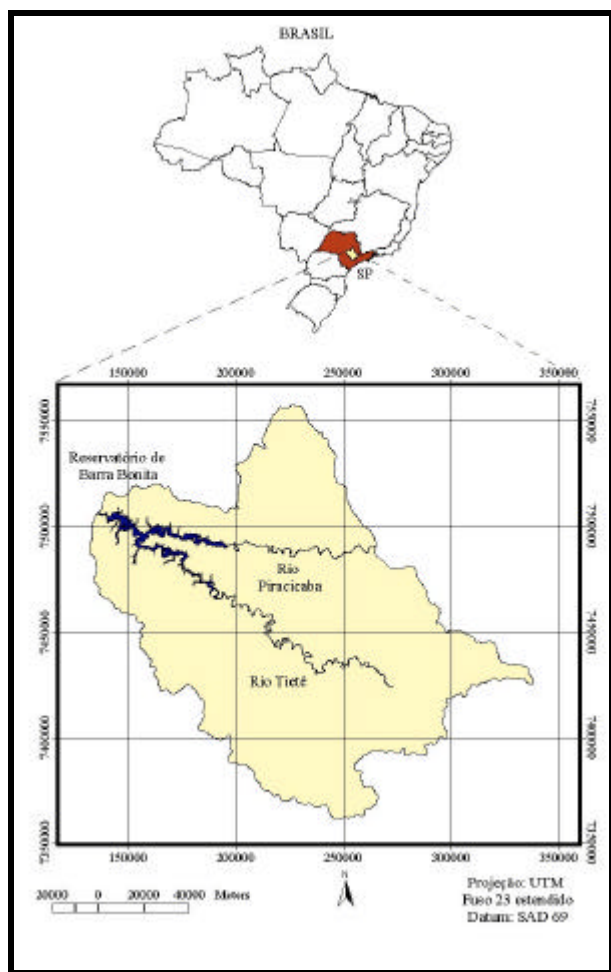


Fig.1 – Localização da bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP.

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.

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.

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 Köpen, o clima 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 Perceé do Tietê (VI).

No tocante aos 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-se em Unidades de Conservação como: Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí-Botucatu, APA Tietê, APA Jundiá/Cabreúva, 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.

3. INTERFERÊNCIA DO USO E COBERTURA DA TERRA NA QUALIDADE DA ÁGUA

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 consequências 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, como por exemplo, KIRA e SAZANAMI (1995).

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 e SAZANAMI, 1995).

Barra Bonita é um reservatório antigo (41 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.

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 cedeu 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-ÁLCOOL). A modernização da agricultura ocorreu com a aplicação de defensivos agrícolas, o incremento da força mecânica e a intensificação do uso da terra nos municípios do entorno (VALÊNCIO *et al.*, 1999). Concomitantemente à expansão da cana-de-açúcar ocorreu a redução das áreas de vegetação natural (predominantemente cerrado), inclusive matas ciliares. 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.

4. IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA DETECTAR MUDANÇAS NO ESPAÇO E NO TEMPO

A importância dos dados de sensoriamento remoto para a detecção de mudanças no espaço e no tempo, e particularmente, de mudanças no uso e cobertura da terra pode ser determinada pelo grande número de trabalhos publicados e pela diversidade de suas aplicações a partir do advento das primeiras imagens de satélites não tripulados.

A grande vantagem dos dados de satélites ambientais e de recursos naturais é a de permitir o registro sinóptico da superfície terrestre sobre amplas áreas, em condições de iluminação relativamente constantes de tal modo que se torna possível acompanhar mudanças sutis no uso e cobertura do solo. O primeiro satélite da série Landsat foi lançado em 1972 (Novo, 1992) e a aplicação de suas imagens para o acompanhamento de modificações no uso da terra se tornou tão disseminada que já em 1976 (Anderson, 1976) tornou-se necessário o desenvolvimento de um sistema de classificação adequado não só aos dados disponíveis, mas que permitisse a incorporação de informações de maior escala na medida em que os sensores fossem se tornando tecnologicamente mais avançados. As primeiras aplicações operacionais das imagens de satélite de recursos naturais foram ligadas ao levantamento de alterações na cobertura vegetal. Dentre os trabalhos pioneiros pode-se citar a aplicação

para o levantamento da área desmatada na Amazônia Legal ainda em 1976 (Santos e Novo, 1976).

Ao término da primeira década de disponibilidade de dados de satélite começaram a ser publicados os primeiros trabalhos voltados à análise de tendências temporais de modificação na superfície terrestre. Pode-se até dizer que os dados de satélite foram os catalisadores do estado de alerta para as mudanças ambientais do planeta Terra. Hall *et al.* (1996) publicaram uma pesquisa em que apresentam uma metodologia para determinar padrões de sucessão na cobertura vegetal a partir da análise de uma série histórica de imagens Landsat. Segundo os autores, a metodologia permitiu que eles classificassem imagens obtidas em 1973 a partir de informações de campo coletadas em 1983. A vantagem dessa abordagem é a de possibilitar que longas séries temporais de imagens possam ser usadas e comparadas para determinar taxas de mudança na superfície terrestre. Abordagens como essas na realidade, permitem não apenas avaliar mudanças, mas também a projetar tendências de degradação ambiental.

Nas mais diversas áreas de conhecimento, as imagens de satélite têm sido utilizadas seja para determinar modificações ambientais diretamente, seja para inferir alterações derivadas das modificações no uso e cobertura da terra. Dados históricos de uso da terra derivados de imagens de imagens dos satélites Landsat e SPOT foram utilizados, por exemplo, (Mattikalli e Richards, 1996) para determinar o efeito das mudanças de uso da terra sobre a qualidade da água.

Dentre os estudos voltados à análise de mudanças no uso e cobertura do solo pode-se mencionar o de Verbyla e McGuire (2001) que utilizaram métodos de detecção de mudanças (Change Vector Analysis) para avaliar modificações na cobertura vegetal entre os anos de 1986 e 1992 a partir de imagens do sensor Landsat/TM. Mais recentemente, com o advento do sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua têm se intensificado o uso de imagens de satélite para avaliar principalmente o impacto do uso da terra sobre as mudanças globais do planeta (Defries *et al.* 2002; Cardille e Foley, 2003; Anderson, 2004; Anderson *et al.*, 2005).

5. MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos adotados no desenvolvimento dessa pesquisa encontram-se resumidos no fluxograma da figura 2 e descritos de forma mais detalhada na seqüência e em PRADO (2004).

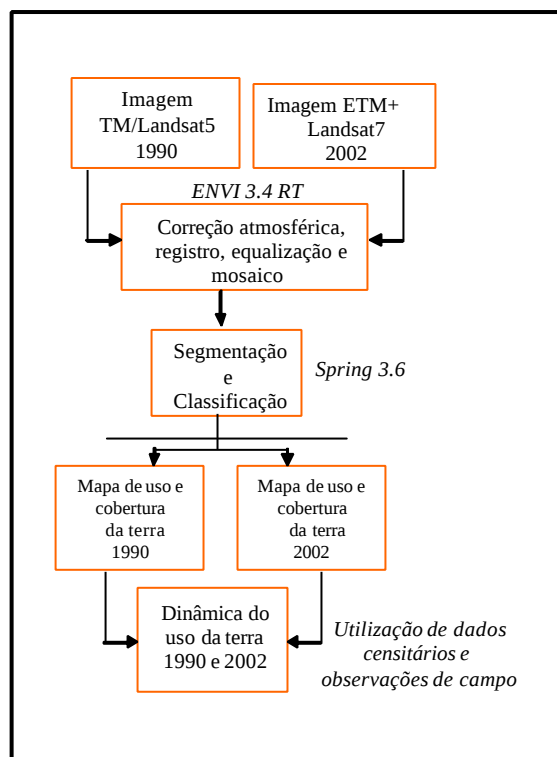


Fig. 2 - Fluxograma das fases da metodologia aplicada.

Para este estudo foi definida a projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*) e o Datum SAD69 (*South American Datum de 1969*). A base cartográfica utilizada para a delimitação da bacia hidrográfica e da rede de drenagem foi a do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala 1:250.000 (Folhas: São Paulo, Campinas, Bauru e Itapetininga).

Para a determinação do limite da bacia de contribuição para o reservatório de Barra Bonita, adotou-se a premissa de que as barragens nos rios que drenam para o reservatório de Barra Bonita exercem um efeito de barreira dos poluentes que chegam de suas bacias de captação. Sendo assim, apenas as áreas à jusante daqueles reservatórios, tanto pertencentes à bacia do rio Piracicaba como à do rio Tietê, foram consideradas como contribuintes para a entrada de poluentes no sistema em estudo.

5.1 Aquisição das imagens de satélite de 1990 e 2002

Para abranger toda a área de estudo foram necessárias três cenas incompletas do sensor TM do satélite Landsat5 para 1990 e do sensor ETM+ do satélite Landsat7 para 2002, cujas principais características encontram-se na tabela 1. As imagens foram selecionadas em função da presença de nuvens, aceitando-se 35% ou menos da imagem coberta por nuvem.

TABELA 1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS UTILIZADAS NESTE ESTUDO.

Sensor	Órbita/ Ponto	Data aquisição	Hora Passagem satélite
TM	219/76	10/03/1990	12:25
TM	220/76	12/11/1990	12:30
TM	220/75	28/01/1990	12:53
ETM+	220/75	23/12/2002	12:58
ETM+	219/76	29/10/2002	12:52
ETM+	220/76	23/12/2002	12:58

5.2 Processamento digital das imagens de 1990 e 2002

5.2.1 Seleção de bandas a serem utilizadas no processamento de imagens

Para cada banda foi feita uma análise dos valores médios de nível digital (ND) das principais classes de uso da terra e de seus desvios padrões. Como as classes foram melhor distingüidas nas bandas 3, 4 e 5, apenas estas foram selecionadas para serem utilizadas nos passos subseqüentes.

5.2.2 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 ambas. Alguns métodos de correção atmosférica foram testados como a utilização de ferramenta do software ENVI 3.4 (*calibration utilites*) 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, 1988 e 1996). Este método consiste em subtrair de cada banda os valores de ND mínimos. Espera-se que os valores de ND mínimos sejam maiores na banda 1, diminuindo até atingir o menor valor na banda 5. Em seguida, os valores de ND obtidos para cada banda foram transformados de 0-1 para 0-255, utilizando o ENVI 3.4.

5.2.3 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. 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.

5.2.4 Mosaico de imagens

A concatenação das três cenas (mosaico) foi feita também no ENVI 3.4, tanto para 1990 como para 2002. Posteriormente, foi feita uma máscara ainda no ENVI 3.4 para cada imagem a partir da importação do PI do Spring 3.6 (INPE, 2004) contendo o contorno da bacia de estudo. Estas imagens já mosaicadas foram exportadas para o Spring 3.6 visto que a segmentação neste *software* mostrou-se mais eficiente.

5.2.5 Aquisição de amostras de treinamento e teste para classificação digital do uso e cobertura da terra

De posse do mosaico das imagens, foi possível fazer a verificação de campo na área de estudo para a imagem de 2002 conforme Hall *et al.* (1991). Para este trabalho foram utilizados mapas rodoviários e de uso da terra do Estado de São Paulo, um GPS, um *notebook* e uma caderneta de bordo. 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, uma vez que as classes de uso desta região estudada são facilmente confundidas e bastante fragmentadas.

5.2.6 Segmentação das imagens

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, devido a dimensão das imagens, e ao tempo de processamento, optou-se pela reamostragem para pixels 60x60m, levando em consideração que a escala final dos mapas seria a de 1:250.000. Sendo assim, foram realizados testes em áreas representativas das imagens, alterando os valores dos limiares de similaridade e de área até se obter um resultado satisfatório. Os limiares com melhor resultado foram de 10 e 20, respectivamente de similaridade e de área. Considerando que o tamanho do pixel é de 60x60m, a área da menor unidade mapeada foi de aproximadamente 7,2 ha. Uma vez obtida a segmentação, passou-se à extração de regiões. Neste procedimento o algoritmo extrai as informações estatísticas de média e variância de cada região, considerando as bandas indicadas no arquivo de contexto.

5.2.7 Classificação das imagens

A classificação foi escolhida de acordo com sua habilidade 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%.

5.2.8 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, sendo 11 classes, a saber: área urbana, solo exposto, pastagem e campo, cana-de-açúcar, cultura temporária, cultura permanente, remanescente de vegetação natural, reflorestamento, macrófitas e nuvem e sombra.

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. Este procedimento é justificável levando em conta a escala de trabalho regional adotada. Desta forma, obtiveram-se os mapas de uso e cobertura da terra para 1990 e 2002.

5.3 Análise da dinâmica do uso e cobertura da terra

5.3.1 Utilização dos mapas de uso e cobertura da terra

Foi feito o cálculo de áreas das classes de uso e cobertura da terra para 1990 e 2002, utilizando ferramenta do Spring 3.6. Ainda 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. Este procedimento evita que uma área coberta por nuvem ou sombra em um ano (portanto não identificada), seja contabilizada no outro ano, interferindo nos resultados de comparação de áreas.

As informações obtidas no trabalho de verificação terrestre e nas amostragens de campo também foram utilizadas nesta fase, como argumentação no que se refere ao uso e cobertura da terra na bacia em questão, principalmente quando este encontrava-se gerando fontes de poluição da água do reservatório de Barra Bonita.

5.3.2 Utilização de dados censitários agrícolas

Utilizando o banco de dados SIDRA do IBGE, disponível na internet (IBGE, 2004), foi possível obter dados de Produtividade Agrícola Municipal (PAM), de área plantada (em hectares), para culturas permanentes e temporárias, de 1990 a 2002, buscando se fazer uma análise temporal, uma vez que o mapeamento de uso e

cobertura da terra foi referente à 1990 e 2002 apenas. Nesta fase foram considerados os municípios com mais de 70% de sua área pertencente à bacia estudada, que no total foram 55 municípios, compondo a maior parte da mesma. Posteriormente, obteve-se o somatório de áreas de culturas permanentes e temporárias destes municípios, representando toda a bacia de estudo a fim de se verificar a dinâmica destas culturas de 1990 a 2002. Os resultados desta fase foram importantes também para confirmar as tendências observadas nos mapas de uso e cobertura da terra.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.2 Resultados intermediários do processamento de imagens de satélite (1990 e 2002)

A partir da fase de pré-processamento das imagens de 1990 e 2002 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 2 e 3, respectivamente). 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.

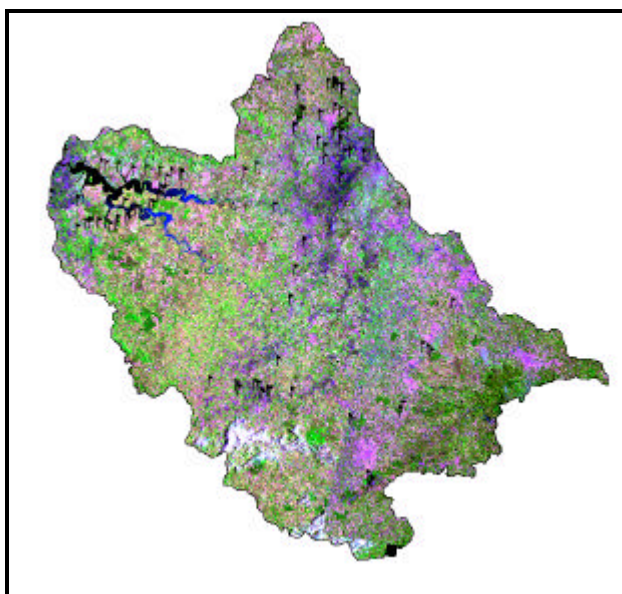


Fig. 3 - Mosaico obtido a partir das imagens Landsat5 de 1990– Bacia Hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP.

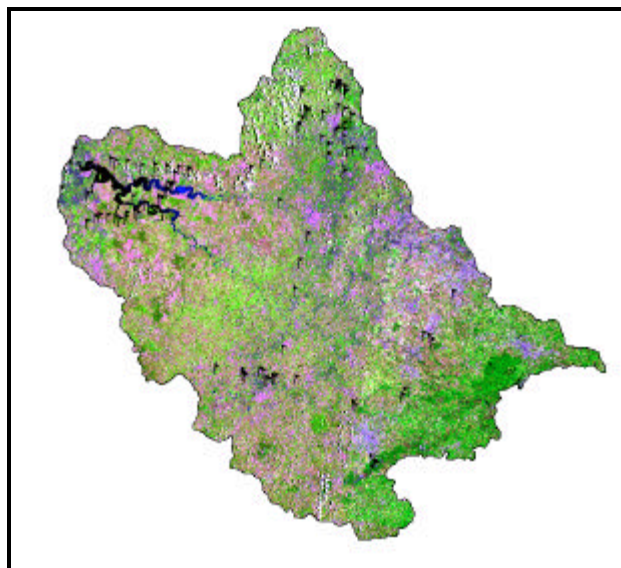


Fig. 4 - Mosaico obtido a partir das imagens Landsat7 de 2002 – Bacia Hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP.

Mesmo antes da classificação perceberam-se mudanças no uso e cobertura da terra entre 1990 e 2002, sendo que em 1990 a área coberta por nuvens foi maior que a do ano de 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 viçosa; áreas de várzeas, capoeiras e vegetação secundária; dentre outras, o que dificultou também o processo de classificação. Em estudos mais detalhados, pode ser melhorada a discriminação das classes de uso. As marcas em preto são os locais visitados em campo, que auxiliaram na fase de treinamento para a classificação das imagens.

Na segmentação, obteve-se um resultado satisfatório utilizando limiares de 10 e 20, de similaridade e área, respectivamente, tanto para 1990 como para 2002. As figuras 5 e 6 mostram um trecho da área de estudo segmentada, abrangendo diferentes classes de interesse, para ambos os anos.

Verificou-se ainda 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, permitiu uma melhor delimitação das classes que possuíam pequenos fragmentos como foi o caso da vegetação natural e por este fato os limiares adotados foram mantidos.

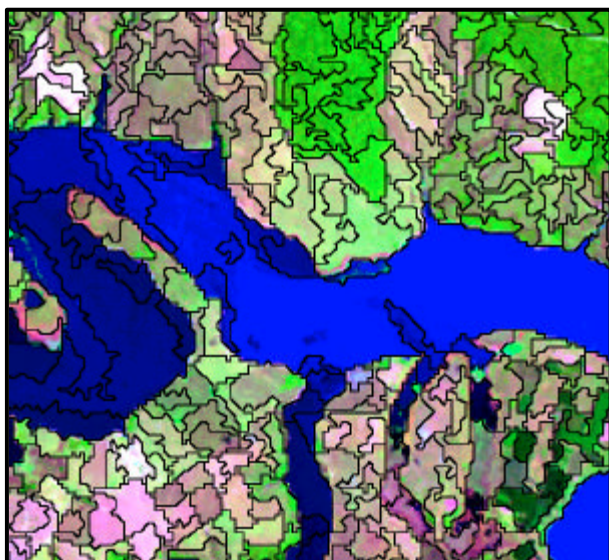


Fig. 5 - Resultado da segmentação das imagens de 1990, para um trecho da área de estudo.

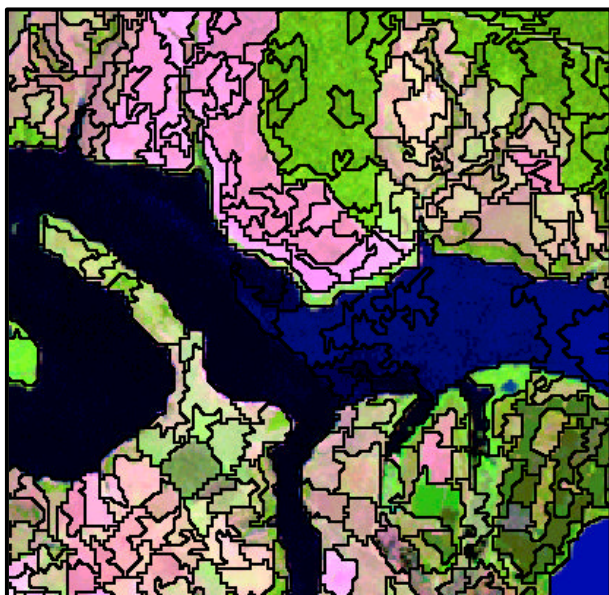


Fig. 6 - Resultado da segmentação das imagens de 2002, para um trecho da área de estudo.

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.

	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.

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 o uso de fotos aéreas e imagens com resolução espacial melhor do que as disponíveis.

Entretanto, para estudos semelhantes a este, 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. Neste sentido, os resultados desse trabalho podem ser estendido para imagens do satélite sino-brasileiro CBERS 1 e 2 lançados respectivamente em 1999 e 2003 (<http://www.cbers.inpe.br>) que se encontram disponíveis gratuitamente e podem ser obtidas via Internet (<http://www.obt.inpe.br>).

A partir da classificação supervisionada e edição das imagens do Landsat 5 e 7, referentes à 1990 e 2002, respectivamente, foram obtidos os mapas de uso e cobertura da terra da área de estudo, para ambos os anos. As Figuras 7 e 8 ilustram as modificações no uso e cobertura de 1990 para 2002 num trecho da área estudada (figuras 7 e 8). A área de cada classe para toda a região estudada em ambos os anos encontram-se apresentadas na tabela 3. Quanto à porcentagem de mudança, os valores positivos indicam expansão da área e os negativos indicam redução de área.

Como se observa, trata-se de uma bacia hidrográfica bastante antropizada, abrigando grandes centros urbanos, com destaque para Campinas, Piracicaba, Sorocaba, Jundiaí, Americana, Indaiatuba, Limeira, Rio Claro, dentre outros.

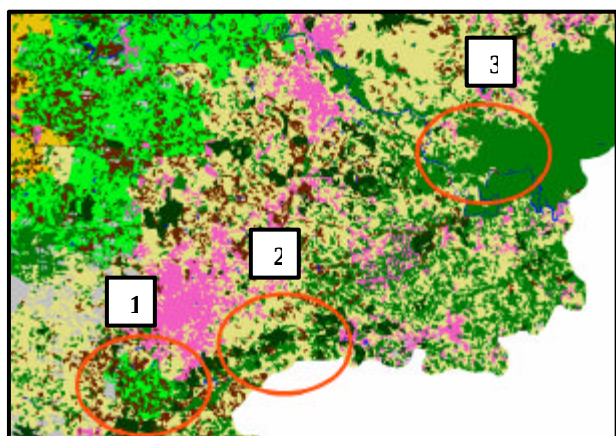


Fig. 7 – Trecho sul do mapa de uso e cobertura da terra de 1990.

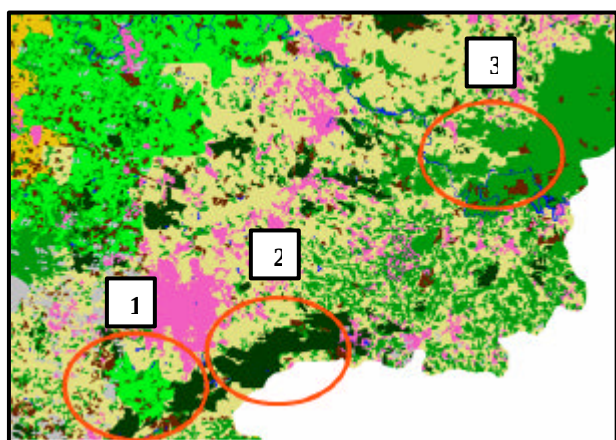


Fig. 8 – Trecho sul do mapa de uso e cobertura da terra de 2002.

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		

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.

Notou-se uma redução bastante significativa das áreas consideradas como a classe solo exposto, de 1990 para 2002 (figuras 7 e 8, identificador 1). 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. Além disso, as cenas que compõe 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, observou-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 (2002), 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.

Ainda vale ressaltar que a cana-de-açúcar, de acordo com a tabela 3, 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, 2002; GÜRTLER,

2003 e outros), enfatizando a necessidade de se usar séries temporais de imagens durante o ciclo de crescimento da cultura, o que não é o escopo do presente 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 de campo, foi possível obter relatos dos pequenos agricultores segundo os quais nos últimos anos tem ocorrido a substituição das culturas temporárias pela cana-de-açúcar, sendo a última vendida para as usinas sem muita mão-de-obra e riscos 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 (figuras 7 e 8, identificador 3). 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, entre outras atividades predatórias.

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 não possuem largura e biodiversidade significativas. Sem contar que pode ocorrer superposição do comportamento espectral da vegetação natural e reflorestamento, o que em determinados casos leva a que essas classes sejam confundidas no processo de interpretação das imagens. 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 cobertura vegetal muito grande.

A classe reflorestamento apresentou também pequena redução de 1990 para 2002, apesar de ter ocorrido um aumento em algumas regiões específicas como nos municípios Indaiatuba, Sorocaba, Votorantim, Alumínio, Alambari, dentre outros, estando

relacionados, na maioria das vezes, a indústrias de papel e celulose (figuras 7 e 8, identificador 2).

A partir dos dados de área plantada (ha) para culturas temporárias e permanentes do PAM (Produtividade Agrícola Municipal), IBGE (2004), mais especificamente a partir do somatório destas áreas para os municípios que possuem mais de 70% de sua área na bacia de estudo, foi possível analisar a variação da área plantada destas culturas no período compreendido de 1990 a 2002 (tabela 4).

TABELA 4 – ÁREA PLANTADA DE CULTURA PERMANENTE E TEMPORÁRIA NO PERÍODO DE 1990 A 2002 NA BACIA HIDROGRÁFICA DE ESTUDO.

Ano	Cultura Temporária (ha)	Cultura Permanente (ha)
1990	338.108	37.196
1991	345.736	51.556
1992	331.648	52.045
1993	312.815	33.233
1994	325.042	33.716
1995	338.951	31.258
1996	306.114	28.567
1997	301.481	31.051
1998	300.551	30.930
1999	307.110	31.184
2000	285.789	26.279
2001	310.372	29.526
2002	305.041	31.947
Desvio	19.315	8.106

Fonte de dados: IBGE, 2004.

Observa-se 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 à redução, no período estudado, apesar dos resultados de área obtidos para a classe cultura temporária nos mapas de uso e cobertura da terra (tabela 3) demonstrarem o contrário. Todavia, há de se considerar que os dados da tabela 4 são referentes aos municípios que possuem mais de 70% de sua área na bacia de estudo, ao passo que os dados obtidos por meio das imagens de satélite, referem-se à área total da bacia.

Verifica-se ainda uma oscilação nítida ao longo do tempo em ambos os tipos de cultura, 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. 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 IBGE (comunicação pessoal) 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.

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. Esta dinâmica nas áreas agricultáveis encontra-se 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 à agropecuária, o acesso à 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.

Para confirmar usos inadequados da terra, ressaltando o entorno do reservatório de Barra Bonita, foi possível identificar no trabalho de verificação terrestre, vários pontos de degradação ambiental, possíveis de serem identificados nas imagens Landsat. Como exemplo pode-se citar locais de exploração de areia tanto às margens do reservatório de Barra Bonita quanto às margens de seus afluentes (figura 8). 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.

Processos erosivos com início de formação de voçorocas, em áreas de pastagens degradadas, foram também observados (figura 10). 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. Ainda, devido à ausência de mata ciliar, foram observados, às margens do reservatório, vários desmoronamentos em áreas de pastagens, levando grandes quantidades de sedimento para dentro do mesmo (figura 11).

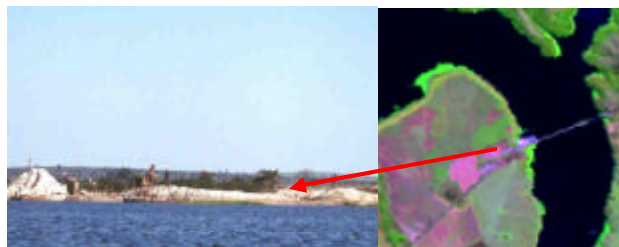


Fig. 9 - Exploração de areia às margens do reservatório de Barra Bonita.



Fig. 10 - Processo erosivo com início de voçorocamento, em áreas de pastagens degradadas.



Fig. 11 - Processo erosivo com início de desmoronamento das margens do reservatório, em áreas de pastagens.

Um outro uso bastante freqüente, às margens do reservatório, é o cultivo da cana-de-açúcar, não havendo mata ciliar, como pode ser observado na figura 12. O solo exposto em épocas de preparo para o plantio é transportado rapidamente para o reservatório em situações de chuva, quando não se aplica os manejos adequados do mesmo.

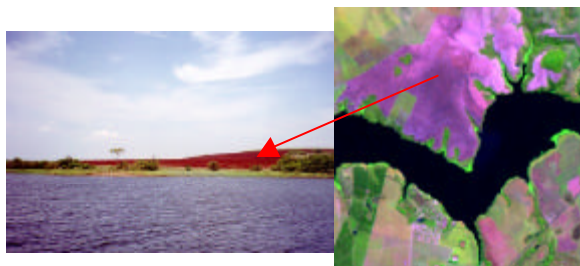


Fig. 12 - Solo exposto no plantio da cana-de-açúcar, às margens do reservatório de Barra Bonita.

6. CONCLUSÕES

A utilização de imagens Landsat para avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra se mostrou eficiente em escala regional. Porém, para bacias hidrográficas menos extensas e quando se pretende maior detalhamento, principalmente, em regiões onde as classes de uso são bastante fragmentadas, recomendam-se imagens com melhor resolução espacial.

As técnicas de processamento digital das imagens aplicadas se mostraram eficientes, obtendo-se uma matriz de erros da classificação bastante satisfatória. A fase de segmentação utilizando o *Bhattacharya Distance* permitiu a separação de regiões homogêneas, o que facilitou a fase de classificação das imagens. Também a classificação supervisionada foi um método interessante uma vez que foi possível, neste estudo, se obter amostras significativas das classes de uso sujeitas à maior confusão no momento da classificação.

O cálculo de áreas para os anos de 1990 e 2002 possibilitou verificar que a classe de uso que teve maior expansão foi a área urbana, refletindo o aumento populacional e êxodo rural, traduzindo em fontes pontuais de poluição, principalmente dos recursos hídricos. Seguida da área urbana, a classe cana-de-açúcar foi a que apresentou maior expansão, refletindo em fontes difusas de poluição da água, desmatamentos, queimadas, dentre outros efeitos prejudiciais ao ambiente.

A utilização dos dados do PAM (IBGE, 2004) mostrou que entre 1990 e 2002, as transformações na ocupação de áreas para culturas anuais e perenes também foram intensas, onde áreas de culturas temporárias predominam com relação às áreas de culturas permanentes, na bacia em estudo.

O trabalho de verificação terrestre comprovou a importância do conhecimento da área de estudo no momento da classificação das imagens, assim como permitiu identificar pontos específicos da área de estudo que podem estar gravemente contribuindo para uma maior degradação ambiental.

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 ambiental em nível de bacias hidrográficas de forma integrada e participativa, como forma de reduzir as fontes pontuais e difusas de poluição, assegurando melhor qualidade do solo e da água.

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 Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) da USP - São Carlos, pelo apoio técnico e de infraestrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, L. O. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal de Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS**. São José dos Campos, SP, 2004. Dissertação. (Mestrado). Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, E. Y.; DEFRIES, R. S.; MORTON, D. Assessment of deforestation in near real time over the Brazilian Amazon using multitemporal fraction images derived from Terra MODIS. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, 2005. v. 2, n. 3, p. 315-318.

CARDILLE, J.A.; FOLEY, J. A. Agricultural land-use change in Brazilian Amazonia between 1980 and 1995: Evidence from integrated satellite and census data. **Remote Sensing of Environment**, 2003. v. 87, n. 4: p. 551-562.

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

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

CURRAN, P. J. **Principles of remote sensing**. London: Longman. 1985. 282 p.

DEFRIES, R. S.; HOUGHTON, R. A.; HANSEN, M.C.; FIELD, C. B.; SKOLE, D. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations from the 1980s and 1990s. **Proceedings of**

the National Academy of Sciences of the United States of America (on line). 2002. v. 99, n. 22, p. 14256-14261.

EPIPHANIO, 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**. 1996. v. 31, n. 6, p. 445-454.

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

HALL, F. G.; BOTKIN D. B.; STREBEL D. E.; WOODS, K. D.; GOETZ, S. J. Large-Scale Patterns of Forest Succession as Determined by Remote Sensing. **Ecology**, 1991. v. 72, n. 2, p. 628-640.

IBGE (2004). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática, Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam>> Acesso em: Julho de 2004.

INPE (2004). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Manuais do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>> Acesso em: Julho de 2004.

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

MATTIKALLI N.M.; RICHARDS K.S. Estimation of Surface Water Quality Changes in Response to Land Use Change: Application of the Export Coefficient Model Using Remote Sensing and Geographical Information System. **Journal of Environmental Management**. 1996. v. 48, n. 3, p. 263-282.

MONTEIRO, C. A. de F. **A dinâmica climática e as chuvas do Estado de São Paulo: estudo em 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**. São José dos Campos, SP, 2000, 116 p. Dissertação (Mestrado) - Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Editora Edgard Bücher Ltda. 1992. 308 p.

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**. São Carlos, SP, 2004, 172 p. Tese (Doutorado). Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.

SANTOS, A. P.; FORESTI, C.; NOVO, E. M. L.M.; NIERO, M.; LOMBARDO, M. A. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações no uso da terra**. São José dos Campos: INPE-2261-MD/016 – DSR/ANAMB. 1981. 61p.

SILAPASWAN, C.S.; VERBYLA, D.L.; MCGUIRE, A.D. Land Cover Change on the Seward Peninsula: The Use of Remote Sensing to Evaluate the Potential Influences of Climate Warming on Historical Vegetation Dynamics **Canadian Journal of Remote Sensing/Journal Canadien de Teledetection** [Can. J. Remote Sens./J. Can. Teledetect.]. 2001. v. 27, no. 5, p. 542-554.

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

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.

TUNDISI, J. G. Frontiers of brazilian research: reservoirs as complex systems. **Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the advancement of Science**. 1996. v. 48, p.383-387.

VALÊNCIO, N. F. L. S. 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, Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, UNESP. 1999. 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**, 1997. v.35, n. 3, p. 675-232.

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