
Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Graduação em Geografia

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE DO USO E COBERTURA
DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAQUERI/SP**

Marcos Paulo Almeida Fornazieiro

Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher (orientadora)

Rio Claro

2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Câmpus Rio Claro

MARCOS PAULO ALMEIDA FORNAZIEIRO

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE DO USO E
COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO ITAQUERI/SP**

Orientadora: Andréia Medinilha Pancher

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau de Bacharelado em Geografia.

Rio Claro

2014

MARCOS PAULO ALMEIDA FORNAZIEIRO

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE DO USO E
COBERTURA DAS TERRAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO ITAQUERI/SP

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher (orientador)

Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha

Profa. Dra. Maria Isabel Castreghini de Freitas

Rio Claro, 05 de Fevereiro de 2013.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

910h.3 Fornazieiro, Marcos Paulo Almeida
F727g Geotecnologias aplicadas à análise do uso e cobertura das
terras na bacia hidrográfica do rio Itaqueri/SP / Marcos Paulo
Almeida Fornazieiro. - Rio Claro, 2014
67 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia)
- Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas

Orientador: Andréia Medinilha Pancher

1. Geografia urbana. 2. Geotecnologias. 3. Uso e cobertura
das terras. 4. Bacia hidrográfica. 5. Sensoriamento remoto. I.
Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Leonice e Paulo, pelo incentivo e apoio constantes durante este caminho.

À minha irmã Ana Paula, pelo carinho e companheirismo nas horas mais difíceis.

Aos meus amigos e a todos aqueles que acreditaram na minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher por todos esses anos de ensinamento, dedicação e carinho, os quais sempre me ajudaram a seguir em diante. Obrigado por se fazer presente neste meu caminho, de onde levarei também sua querida amizade.

À Profa. Dra. Maria Isabel Castreghini de Freitas e à Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha pela disposição em corrigir este trabalho e por suas sugestões sempre muito pertinentes.

A todos os funcionários da Biblioteca da UNESP – Câmpus de Rio Claro que sempre muito prestativos me ajudaram nas correções da bibliografia e elaboração da ficha catalográfica.

À minha inseparável amiga Vitória Sanches Marchesi, por me fazer sorrir nas horas mais complicadas, por estar sempre ao meu lado e a quem mais devo agradecer por ter conseguido trilhar este caminho.

À minha amiga Laís Martins dos Santos, pelos momentos de alegria e companheirismo que me dedicou nestes cinco anos.

Ao meu inesquecível amigo Filipe Gracioli, pela confiança, amizade e companhia que me ajudaram a seguir meu caminho.

À minha querida amiga Lilian Rabethge, a quem nunca irei esquecer, que sempre buscou me tranquilizar e a ver as coisas pelo lado bom.

Aos meus eternos amigos de São João da Boa Vista: Bárbara Leocárdio, Eveline Ramos, Gabriel Cruz, Guilherme Moraes, Maria Cecília Lima, Mariane Bovoloni, Marjiê Wendt e Rosana Mello, por todos esses anos de alegrias e dificuldades que compartilhamos juntos. Obrigado por fazerem parte da minha vida, sem vocês nada seria igual.

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.” (Albert Einstein)

RESUMO

Esta pesquisa teve como propósito analisar a evolução do uso das terras e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Itaqueri, situada entre os municípios de Itirapina e Brotas, na porção central do Estado de São Paulo, em função das profundas alterações paisagísticas que a região vem sofrendo nas últimas décadas. O estudo consistiu de um embasamento teórico aprofundado acerca da temática, prévio reconhecimento da área estudada e o uso das técnicas de processamento digital de imagens e análise espacial em concomitância com a interpretação e avaliação do usuário. Os resultados mostraram-se bastante satisfatório e apresentam um panorama dos usos e coberturas das terras da bacia hidrográfica nos anos de 1989 e 2009, o que permitiu analisar as principais mudanças observadas ao longo dessas duas décadas e identificar os impactos socioambientais envolvidos. Verificou-se o crescimento das áreas de solo exposto e urbanização, ao passo que as áreas de cultivo, pastagem e campo sujo foram reduzidas de 1989 para 2009. Além disso, o uso da fotografia aérea relativa ao ano de 2009 auxiliou na elaboração de um mapa de uso e cobertura das terras em escala mais detalhada do entorno da represa do Broa, no qual é possível observar a instalação de algumas infraestruturas turísticas como a prainha e identificar padrões de ocupação do solo diferenciados, como o Balneário Santo Antônio, caracterizado por uma alta densidade demográfica, lotes pequenos e menor quantidade de áreas verdes em contraposição aos condomínios de alto padrão e casas de veraneio, onde os lotes são maiores e a presença de áreas verdes é mais expressiva. Logo, detectou-se uma forte destinação turística do reservatório, o que desencadeou o crescimento urbano do Balneário Santo Antonio, o qual ocorreu com a redução da vegetação e aumento da pressão sobre os recursos hídricos. Do ponto de vista regional, a bacia hidrográfica do rio Itaqueri certamente sofre os impactos do cultivo de cana de açúcar, que ocorre próximo aos cursos d'água, da exposição dos solos, do crescimento urbano, bem como com a redução das áreas de campo sujo, fatores que implicam no assoreamento dos rios, córregos e represas e no comprometimento da qualidade de suas águas. Espera-se, por fim, que este trabalho tenha contribuído para reforçar a importância do monitoramento e evolução dos usos das terras e cobertura vegetal para avaliar a degradação ambiental e social e assim subsidiar o planejamento racional dos recursos ambientais.

Palavras-Chave: Geotecnologias; Uso e Cobertura das Terras; Bacia Hidrográfica.

ABSTRACT

This research aimed to analyze the evolution of land use and land cover vegetation Itaqueri river basin, located between the cities of Itirapina and Brotas, in the central portion of the State of São Paulo, due to the profound landscaped changes that the region has suffering the last few decades. The study consisted of a theoretical depth about the subject, prior recognition of the study area and uses the techniques of digital image processing and spatial analysis in tandem with the interpretation and evaluation of the user. The results were satisfactory and present an overview of the land uses and cover vegetation to Basin River in the years of 1989 and 2009, which allowed analyzing the main changes observed over these two decades and identifying the environmental impacts involved. There was growth in the areas of exposed soil and urbanization, while croplands, pasture and dirty field were reduced from 1989 to 2009. Furthermore, the use of aerial photography of the year 2009 helped in the preparation of a map of land use and land cover in more detailed scale surrounding the Broa reservoir, where it is possible to observe the installation of some tourist infrastructure as prainha and identify patterns of different land use, as the Balneario Santo Antonio, characterized by a high population density, smaller lots and smaller amount of green areas as opposed to upscale condominiums and vacation homes, where lots are larger and the presence of green areas is more expressive. Soon, it's detected a strong tourist destination of the reservoir, which sparked the growth of the urban Balneario Santo Antonio, which occurred with the reduction of the vegetation and increased pressure on water resources. From a regional perspective, the river basin Itaqueri certainly suffer the impacts of cultivation of sugarcane, which happens near waterways, soil exposure, urban growth, as well as the reduction of the field areas dirty, factors implies the silting of rivers, streams and dams and compromised quality of its waters. It is hoped, finally, that this work will collaborate to reinforce the importance of monitoring and evolution of land uses and cover to assess environmental and social degradation and thus to support the rational planning of environmental resources.

Keywords: GIS; Land Use and Land Cover; Basin River.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA..... | 11 |
| 2. OBJETIVOS..... | 12 |
| 2.1. Objetivo geral..... | 12 |
| 2.2. Objetivos específicos..... | 12 |
| 3. EMBASAMENTO TEÓRICO..... | 12 |
| 3.1. Bacia Hidrográfica: definição e problemática..... | 12 |
| 3.2. Qualidade das águas da bacia hidrográfica..... | 19 |
| 3.3. Mapeamento espaço-temporal de uso e cobertura das terras..... | 21 |
| 3.4. Geotecnologias..... | 22 |
| 3.5. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto..... | 25 |
| 3.5.1. Etapa de pré-processamento de imagens: restauração..... | 25 |
| 3.5.2. Contraste..... | 26 |
| 3.4.2. Filtragem..... | 27 |
| 3.4.3. Composição RGB..... | 29 |
| 3.4.4. Registro..... | 30 |
| 3.4.5. Classificação..... | 30 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS..... | 32 |
| 4.1. Localização geográfica da área de estudo..... | 32 |
| 4.2. Características físicas da área de estudo..... | 33 |
| 4.3. Caracterização socioambiental da área de estudo..... | 36 |
| 4.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... | 38 |
| 4.5. Material..... | 39 |
| 4.6. Procedimentos Metodológicos..... | 40 |
| 4.6.1. Levantamento de dados bibliográficos e cartográficos..... | 40 |
| 4.6.2. Registro e Tratamento das Imagens Orbitais..... | 41 |
| 4.6.3. Delimitação da área de estudo..... | 43 |
| 4.6.4. Segmentação de Imagens..... | 44 |
| 4.6.5. Classificação supervisionada..... | 47 |
| 4.6.6. Elaboração dos mapas temáticos de uso e cobertura das terras..... | 50 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 51 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 67 |
| 7. RECOMENDAÇÕES..... | 68 |

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O meio natural está cada vez mais determinado pela ação antrópica. As atividades humanas provocam intensas alterações na paisagem, repercutindo na degradação ambiental, extinção de fauna e flora e comprometimento da qualidade de vida das populações atuais e futuras.

É a partir desse pressuposto que surge a necessidade de estudos acerca do uso e cobertura das terras. Percebe-se que com o auxílio deste mapeamento temático é totalmente possível compreender os padrões de organização espacial, a partir do qual se pode diagnosticar, bem como prognosticar as mudanças da paisagem, revelando a distribuição espacial dos tipos de uso dos recursos naturais cada vez mais alterados pela ação humana (TORRES, 2011).

O sensoriamento remoto aliado ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode contribuir em demasia para a compreensão do espaço geográfico e suas transformações. O mapeamento do uso e cobertura da terra, dentro dessa perspectiva, assume fundamental importância para a compreensão dos padrões de organização do espaço, que cada vez mais alterado pela ação antrópica, requer um eficaz planejamento territorial e ambiental a fim de minimizar os impactos e garantir a qualidade dos recursos naturais às gerações futuras.

Nesse sentido, os avanços da tecnologia espacial disponibilizaram e facilitaram o acesso aos produtos de satélites imaginadores da terra, os quais se constituem num marco para os novos estudos de uso da terra, uma vez que revelam uma concepção teórica capaz de orientar espacial e temporalmente os usos da terra no seu conjunto para a gestão e apropriação do espaço geográfico (IBGE, 2006).

Nas bacias hidrográficas, o uso e cobertura da terra exercem influência bastante significativa no escoamento superficial e aporte de sedimentos no leito dos mananciais, alterando a qualidade e disponibilidade da água (VANZELA; HERNANDEZ; FRANCO, 2009). Em virtude disto e das grandes transformações paisagísticas observadas na bacia hidrográfica do rio Itaqueri, onde se insere a represa do Lobo/SP, que o presente estudo considerou relevante e necessário o estudo das transformações do uso e cobertura das terras na referida bacia.

Logo, é essencial analisar a evolução das características naturais causadas pelas modificações da ocupação humana na bacia hidrográfica em questão, comparando a situação

local no passado e atualmente, bem como verificar os impactos que foram desencadeados à paisagem natural.

Para o propósito, na presente pesquisa foram utilizadas as geotecnologias, que auxiliaram no tratamento, processamento e classificação das imagens orbitais e posterior interpretação e mapeamento dos dados, revelando, assim, as transformações do uso e cobertura das terras na bacia hidrográfica do rio Itaqueri, estudo este que poderá ainda subsidiar o planejamento dessa bacia hidrográfica.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo fundamental desta pesquisa foi analisar as transformações do uso e cobertura das terras da bacia hidrográfica do rio Itaquerinas últimas duas décadas (1989 e 2009), Itirapina/SP, devido às fortes alterações paisagísticas que aquela região vem sofrendo nos últimos anos, sobretudo em razão da expansão do turismo na represa do Lobo.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Identificar e quantificar as diferentes classes de uso da terra e cobertura vegetal encontradas nas imagens do satélite LANDSAT TM para os anos de 1989 e 2009;
- ✓ Verificar e analisar as mudanças de uso da terra e a supressão da vegetação nativa no decorrer dos anos de 1989 e 2009.
- ✓ Avaliar as técnicas de processamento digital de imagens, com destaque para os métodos de classificação digital de imagens disponíveis no *software* SPRING.

3. EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1. Bacia Hidrográfica: definição e problemática

Tradicionalmente, a literatura aborda a bacia hidrográfica como a unidade fisiográfica mais adequada para o planejamento dos recursos hídricos, sendo ela, portanto, a unidade de estudo recomendável para estudos desta natureza. Como um sistema aberto, a bacia hidrográfica permite aferir acerca das interferências antrópicas e suas conseqüências nos recursos hídricos de forma integrada.

De acordo com Christofolletti (1980, p. 102) a bacia hidrográfica consiste na “[...] área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial”.

Garcez e Alvarez (1988, p. 43) entendem a bacia hidrográfica “[...] como sendo uma área definida e fechada topograficamente num ponto do curso de água, de forma que toda a vazão afluyente possa ser medida ou descarregada através desse ponto”.

Para Tucci e Mendes (2006, p. 19) a bacia hidrográfica “[...] é toda área que contribui por gravidade para os rios até chegar à seção que define a bacia”. Os autores destacam que esta área é definida pela topografia superficial, no entanto, as características geológicas do subsolo podem drenar água subterrânea para fora da bacia, repercutindo em diferenças significativas no balanço hídrico de pequenas bacias hidrográficas.

É importante considerar a relação indissociável entre as vertentes e os rios, os quais, conforme Christofolletti (1980), constituem um sistema aberto que é a bacia hidrográfica, estando estes elementos em constante interação. Assim, a forma e o ângulo das vertentes vão sendo regulados de maneira compatível com a capacidade dos rios em transportar os detritos, do mesmo modo que os parâmetros hidráulicos vão sendo ajustados para transportar a quantidade de sedimentos provenientes das vertentes.

Pode-se acrescentar a essa análise, que a forma de uso e cobertura da terra estará também diretamente relacionada com a quantidade de detritos que se desprendem das vertentes em direção às redes de drenagem. À medida que a vegetação natural e ciliar vão sendo substituídas por outras formas de uso da terra, a quantidade de detritos pode variar expressivamente, ocasionando processos de assoreamento e erosão ao longo dos canais. A esta linha de análise Garcez e Alvarez (1988, p. 43) enfatizam que:

“É necessário frisar o importante papel desempenhado pelo tipo de cobertura e uso da bacia hidrográfica em estudo e sua referência na avaliação do comportamento hidrológico desta. A tendência cada vez mais acentuada de ocupação de todas as partes do globo pelo homem, para aproveitar os materiais disponíveis, faz com que o tipo de cobertura do

terreno de uma bacia se modifique, em alguns casos substancialmente, alterando as características da bacia no tempo”.

A partir do exposto é possível aferir que o uso e a cobertura das terras de determinada bacia hidrográfica possui impactos significativos no balanço hídrico desta unidade de análise, afetando diretamente o escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração e precipitação.

Tucci e Mendes (2006) destacam os impactos ocasionados pelas alterações do uso e manejo do solo na bacia hidrográfica, avaliando os efeitos sobre as enchentes, vazões mínimas e médias, bem como as condições ambientais locais e a jusante.

A mudança de uso da superfície da bacia é precedida pelo desmatamento, o qual é responsável pelo aumento da vazão máxima e pela diminuição da mínima. Segundo os autores (op. cit.), as alterações de uso da terra da bacia hidrográfica podem ser classificadas quanto ao tipo de mudança, ao uso da superfície da bacia e ao método empregado na mudança de uso. Essas características estão sintetizadas na tabela 1.

Tabela 1: Classificação sobre a mudança e uso do solo

| Classificação | Tipo |
|-----------------------|---|
| Mudança da superfície | <ul style="list-style-type: none">✓ Desmatamento✓ Reflorestamento✓ Impermeabilização |
| O uso da superfície | <ul style="list-style-type: none">✓ Urbanização✓ Reflorestamento para exploração sistemática✓ Desmatamento: extração de madeira, cultura de subsistência, culturas anuais, culturas permanentes |
| Método de alteração | <ul style="list-style-type: none">✓ Queimada✓ Manual✓ Equipamento |

Fonte: Tucci; Mendes (2006, p. 25).

As consequências ambientais do desmatamento são diversas, no entanto vale destacar aquelas que impactam diretamente os recursos hídricos (TUCCI; MENDES, 2006), tais como:

- ✓ Aumento da carga sólida dos rios em razão da exposição do solo durante o primeiro estágio de desmatamento;
- ✓ Redução da evapotranspiração e precipitação local;
- ✓ Aumento da vazão média dos rios;
- ✓ Menor teor de umidade nas zonas mais profundas do solo.

Valente (2011) avaliou os impactos decorrentes do desmatamento do Cerrado nos recursos hídricos superficiais, adotando como área de estudo a bacia hidrográfica do Bananal, a qual se mostrou bastante frágil por apresentar um mosaico morfovegetacional interrelacionado com rios e lagos. Desse modo, o resultado mais expressivo da pesquisa revelou que 237 lagos dos 570 existentes na área secam durante a estação seca em razão do expressivo desmatamento do cerrado.

Albuquerque; Lombardi e Srinivasan (2001) estudaram os efeitos do desmatamento da caatinga nos coeficientes de perda de solo e água pelo escoamento superficial, verificando que as áreas com vegetação nativa reduziram em 98% e 73% as perdas de solo e água, respectivamente, quando comparadas com as áreas desmatadas. Esses resultados podem contribuir substancialmente para diagnosticar os problemas de assoreamento das redes de drenagem do semi-árido brasileiro.

Após o desmatamento a superfície torna-se passiva ao desenvolvimento de outros tipos de uso, sendo eles cultivos, urbanização, reflorestamento, entre outros. As implicações da substituição da vegetação original por áreas agricultáveis podem ser identificadas no trabalho de Tucci e Clarke (1997), no qual se encontram sintetizados os seguintes cultivos e impactos nos recursos hídricos:

- ✓ Extrativismo: impactos decorrentes da construção de estradas, aumentando a capacidade erosiva gerada pela superfície desprotegida.
- ✓ Culturas de subsistência: representando 35% do desmatamento da América Latina, esse tipo de cultura é precedido pela queimada antes do período chuvoso e o plantio sobre as cinzas. O impacto sobre o balanço hídrico tem suas origens com o desmatamento, que tende a diminuir a evapotranspiração e aumentar a vazão média dos rios. Esse fenômeno tende a ser atenuado à medida que o cultivo é desenvolvido.
- ✓ Culturas permanentes: representadas por plantações como café, fruticultura e pasto, esses cultivos não exigem o freqüente manejo do solo e a substituição das plantas. Desse modo, os efeitos sobre o escoamento superficial são mais expressivos durante a fase do desmatamento. Posteriormente, as culturas permanentes tendem a estabelecer um balanço hídrico próprio, cuja alteração é de pequena a intermediária.
- ✓ Culturas sazonais: caracterizadas por uma alternância anual ou periódica da cobertura vegetal (cana de açúcar, soja, milho e etc). O manejo inadequado do solo nesses casos pode implicar em processos erosivos acelerados e modificar as condições de infiltração do solo, além de que os limites entre as propriedades adicionam o efeito de alterações do solo, em virtude da erosão e compactação que se forma. A erosão do solo e as condições de infiltração são de extrema importância para o escoamento superficial e os canais fluviais.

A transformação de áreas de vegetação natural por áreas agrícolas pode ter os efeitos apresentados anteriormente ainda mais intensificados pelo mau uso do solo, incluindo a predominância do plantio “morro abaixo” ao cultivo em curva de nível, aração excessiva, superpastoreio, cultivo em áreas de alta declividade sem aptidão agrícola para aquelas culturas, além do uso de fertilizantes e agrotóxicos que contaminam tanto as águas superficiais quanto subterrâneas.

As imensas áreas convertidas em zonas urbanas também devem ser mencionadas sobre o ponto de vista dos impactos causados nos recursos hídricos.

A urbanização, sobretudo nos países de industrialização recente, tem ocorrido de forma espontânea e não planejada, somando taxas elevadas de crescimento urbano. No Brasil, os índices mais elevados de crescimento da população urbana foram registrados no auge do governo desenvolvimentista e de incentivo a industrialização durante a década de 1950.

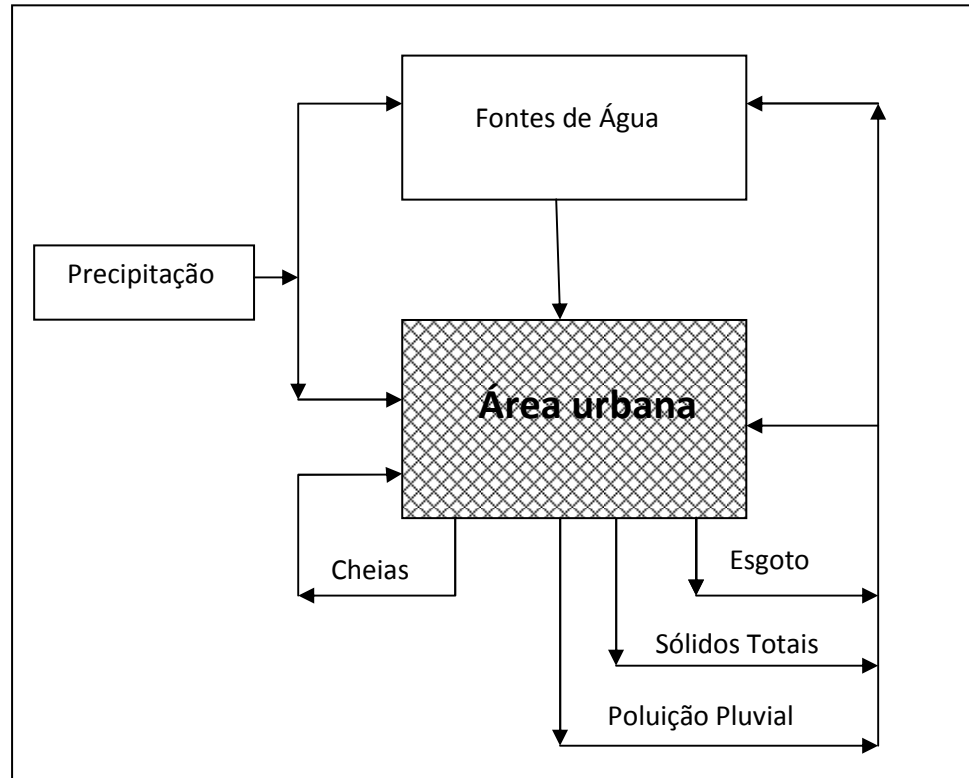
Embora atualmente as cidades não cresçam a taxas tão elevadas, não há como negar que as zonas urbanas continuam a aumentar. Segundo dados do IBGE (2010), mais de 80% da população brasileira vivem na cidade.

As características históricas de expansão das áreas urbanas têm mostrado a predominância do crescimento sentido costa-interior e jusante-montante das bacias hidrográficas. Nesse sentido, Tucci (2010) revelou os principais impactos gerados pelo ambiente urbano aos recursos hídricos, dentre os quais destacam-se:

- ✓ Contaminação e poluição das fontes de abastecimento (rios e águas subterrâneas) pelo lançamento de efluentes sem tratamento.
- ✓ Maior risco de cheias e diminuição da infiltração para os aquíferos em consequência do aumento da superfície impermeável. Vale mencionar que as áreas impermeáveis e a canalização de rios aumentam em sete vezes as cheias e a produção de sedimentos, já que há um aumento da quantidade e velocidade de escoamento das águas pluviais.
- ✓ Contaminação das águas dos rios pelas águas pluviais urbanas e agrícolas.
- ✓ Diminuição da capacidade de carga dos rios devido à sedimentação dos mesmos e à disposição irregular de resíduos sólidos, aumentando a intensidade das inundações.
- ✓ Rebaixamento do solo e inundações mais intensas em áreas baixas devido à exploração excessiva de água subterrânea (solução alternativa de abastecimento). No entanto, alguns estudos têm mostrado que os constantes vazamentos nas tubulações de água e esgoto contribuem para alimentar os aquíferos, embora essa recarga possa de alguma forma contaminar as águas subterrâneas.
- ✓ Diminuição da evapotranspiração e conseqüentemente aumento da temperatura em superfície em razão da ausência de vegetação. O ar tende a aquecer-se na baixa atmosfera, ocorrendo correntes de ascensão e, por fim, o aumento da precipitação.

As interferências nos recursos hídricos ocasionadas pelas áreas urbanas acabam também refletindo em riscos a própria integridade destas e à qualidade de vida das populações urbanas. As enchentes, doenças ligadas à má qualidade da água e diminuição de água potável são apenas alguns exemplos (Diagrama 1).

Diagrama 1 - Efeitos e reflexos da área urbana nos recursos hídricos.



Fonte: TUCCI, 2010, p. 119.

Em suma, observa-se que as mudanças de uso da terra quando ocorrem de forma desordenada e inadequada aumentam a vulnerabilidade do solo aos processos erosivos, repercutindo, conseqüentemente, na erosão acelerada e assoreamento de cursos d' água e reservatórios, desequilibrando, portanto, os balanços de erosão e sedimentação naturais das bacias hidrográficas. Este processo, por sua vez, compromete a qualidade e disponibilidade das águas à vegetação, fauna e também à sociedade. A tabela 2 sintetiza os principais impactos causados pela ação antrópica aos recursos hídricos.

Tabela 2: Impactos e conseqüências das atividades humanas sobre os recursos hídricos.

| Tipo de alteração da | Impactos nos recursos | Conseqüências |
|----------------------|-----------------------|---------------|
|----------------------|-----------------------|---------------|

| paisagem | hídricos | |
|----------------------------------|---|---|
| Construção de represas | Alteração do fluxo de nutrientes e sedimentos dos rios. | Interfere na migração e reprodução dos peixes, afetando os habitats naturais e a pesca |
| Construção de diques e canais | Destruição da conexão do rio com as áreas de várzea | Afeta a fertilidade dessas áreas e aumenta a vulnerabilidade às enchentes |
| Canalização, retificação de rios | Modificação do perfil longitudinal do rio, os balanços de sedimentação e erosão, além de interferir na capacidade erosiva à jusante. | Altera os habitats aquáticos, a pesca, a produção de hidroeletricidade e transporte. |
| Drenagem de áreas alagadas | Eliminação de áreas destinadas ao caminho das águas de cheia. | Perda da biodiversidade, de funções naturais de filtragem e reciclagem de nutrientes. |
| Desmatamento | Modificação dos padrões de drenagem; prejuízo a recarga natural dos aquíferos e aumento da sedimentação | Afeta a qualidade e quantidade de água, a evapotranspiração, a biodiversidade e o controle natural das cheias. |
| Poluição | Alteração da qualidade da água, deixando impotável. | Prejudica a pesca, aumenta os custos de tratamento para abastecimento público e afeta o ecossistema aquático e terrestre. |
| Remoção excessiva de biomassa | Diminuição dos recursos vivos e a biodiversidade | Altera a pesca e os ciclos naturais dos organismos. |
| Introdução de espécies exóticas | Estabelece relações de competitividade entre as espécies exóticas e nativas, prejudicando estas últimas e alterando os ciclos biológicos. | Perda de biodiversidade e estoques genéticos. |
| Poluentes do ar e metais pesados | Alteração da composição química dos recursos hídricos pela adição de elementos químicos. | Efeitos sobre a biota aquática, a saúde humana, a recreação e agricultura. |
| Adensamento populacional | Aumento da demanda por água potável e energia (hidrelétricas); maior poluição das águas e acidificação de lagos e rios | Afeta praticamente todas as atividades econômicas que dependem de um ecossistema aquático saudável, além do prejuízo à biota. |

Fonte: Adaptado de TUNDISI; MATSUMURA TUNDISI, 2011.

3.2. Qualidade das águas da bacia hidrográfica

O uso da terra de uma bacia hidrográfica possui relação direta com a qualidade das águas dos corpos hídricos. O manejo inadequado da terra, as diversas atividades antrópicas e o lançamento de efluentes não tratados em corpos d'água são os principais fatores determinantes de alterações físicas e químicas das bacias de drenagem, repercutindo processos de erosão acelerada, assoreamento, inundações, contaminação e poluição.

Frente a esta situação, a legislação ambiental vigente busca instituir normas e diretrizes cujos objetivos são preservar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, garantindo um ambiente saudável à fauna, à flora e às populações humanas atuais e futuras, visto que a ação humana tem comprometido cada vez mais a disponibilidade hídrica, sobretudo potável.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída em 1997, sem dúvida foi o primeiro passo para se pensar a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos. Em 2000, a Lei nº 9984/2000 dispôs sobre a criação da Agência Nacional de Águas (ANA), autarquia fundamental no processo de implementação da gestão dos recursos hídricos, coordenando a gestão compartilhada e integrada bem como regulando o acesso a água.

Nesse contexto, há que se destacar também a resolução CONAMA nº 357/2005 que visa o enquadramento dos corpos d'água segundo o nível de qualidade dos mesmos, os quais se baseiam nos teores físico-químicos e bacteriológicos das águas. Segundo essa resolução os corpos hídricos podem ser classificados em quatro classes: 1,2,3 e 4.

Existem vários estudos que procuraram estabelecer relações empíricas entre os impactos do uso da terra na qualidade das águas de corpos hídricos e reservatórios. No entanto as análises são complexas e envolvem diversos fatores, tais como parâmetros físico-químicos da água, características naturais e antrópicas da bacia, e que precisam, portanto, ser devidamente ponderados para se evitar análises equivocadas.

No Brasil, pesquisas desta natureza são restritas, podendo citar como exemplo os estudos de Toledo e Nicoletta (2002), Donadio, Galbiatti e Paula (2005); e Bortoluzziet al (2006). Em especial, na bacia hidrográfica do rio Itaqueri e represa do Lobo não foram encontrados trabalhos que tratem sobre o tema, embora existam diversos estudos do Departamento de Hidráulica e Saneamento da USP (CRHEA) sobre a limnologia do reservatório e ecotoxicologia dos cursos d'água da bacia e da represa.

As informações relativas aos aspectos físicos, químicos e biológicos de reservatórios e lagos foram utilizadas por Tundisi et al (1988) para determinar o estado trófico de 23 reservatórios da bacia do Tietê, no estado de São Paulo. Segundo os autores estes dados são de extrema importância para o planejamento e manejo de bacias hidrográficas.

Matheus e Tundisi (1988) revelaram que a qualidade das águas das represas e reservatórios é resultado direto da água dos rios, córregos e nascentes que os abastecem, que por sua vez, reflete os tipos de solo, cobertura vegetal e, sobretudo, as atividades humanas desenvolvidas em toda a área da bacia hidrográfica.

A eutrofização dos reservatórios reflete as atividades provenientes da concentração populacional nas áreas de entorno e ao longo de toda bacia hidrográfica. Tundisi et al (1988) destacam como principais contribuintes para esse processo:

- ✓ O lançamento de esgoto sem tratamento devido ao aumento populacional.
- ✓ As fontes pontuais de poluição e entrada de esgoto proveniente de pequenas propriedades rurais.
- ✓ A entrada de materiais das zonas agrícolas, com destaque para os fertilizantes orgânicos e inorgânicos.
- ✓ A entrada de águas residuais sem tratamento dos centros urbanos e rurais.
- ✓ As fontes pontuais de contaminação atmosférica próximas as regiões industriais.
- ✓ Os lançamentos industriais.
- ✓ A eutrofização das águas subterrâneas.

Em suma, o reconhecimento dos usos e coberturas de uma bacia hidrográfica pode ser determinante para entender os processos de contaminação das águas dos rios e represas, identificar fontes potencialmente poluidoras e diante disso propor medidas de manejo e correção do uso das terras.

3.3. Mapeamento espaço-temporal de uso e cobertura das terras

O mapeamento do uso e cobertura da terra trata-se de uma ferramenta indispensável para avaliar os efeitos da ação antrópica sobre os recursos hídricos. A multitemporalidade das imagens de satélite permite analisar o grau de transformação dos usos e coberturas ao longo dos anos, observando as possíveis interferências humanas e ambientais sobre as águas e, sobretudo, aferindo acerca dos impactos do uso inadequado no meio ambiente.

A degradação das terras tem provocado impactos sociais, econômicos, culturais, políticos e ambientais que se relacionam e se intensificam ao longo dos anos, fato que tem contribuído para a redução da cobertura vegetal em grande escala com conseqüente perda da fauna e qualidade de vida (SOUSA; BARBOSA; SILVA, 2007).

O uso desordenado e desequilibrado das terras somado à retirada da vegetação aumenta a vulnerabilidade do solo aos processos erosivos, repercutindo, conseqüentemente, na erosão acelerada e assoreamento de cursos d'água e reservatórios, desequilibrando,

portanto, os balanços de erosão e sedimentação naturais das bacias hidrográficas. Este processo, por sua vez, compromete a qualidade e disponibilidade das águas à vegetação, fauna e também à sociedade.

Dill (2002) revela que o conhecimento do uso da terra de uma determinada bacia hidrográfica é necessário para que se possa confrontar o uso atual com os diversos outros fatores que medem a real capacidade de uso de suas terras.

De acordo com Rosa (1990, p. 116) o termo “uso da terra” pode ser interpretado “como sendo a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem”.

Ademais, é prudente destacar que a utilização do termo “uso e cobertura da terra” pode provocar ambigüidades e abordagens equivocadas pelo simples fato de não haver uma diferenciação clara e definida entre uso e cobertura. Desse modo, McConnell e Moran (2000) *apud* Alves (2004) procuram distinguir tais termos, compreendendo o uso como sendo relativo ao desenvolvimento de atividades humanas na superfície e cobertura como o estado biofísico da superfície terrestre.

Há que se distinguir também os termos “uso da terra” e “uso do solo”, os quais muitas vezes são utilizados como sinônimos. Para Lepsch (1983) o conceito de solo é mais restrito, abrangendo especificamente um conjunto de corpos tridimensionais na superfície terrestre, contendo matéria orgânica em sua composição e capacidade para suportar plantas. Por outro lado, o termo terra é mais abrangente, contemplando tanto o solo quanto os demais atributos da biosfera, como o substrato geológico, a hidrografia e os resultados da atividade humana.

Diante desta discussão, percebe-se que o uso da terra representa a atividade humana sobre determinada superfície delimitada, tendo como exemplos as zonas agrícolas, pastagens, zonas urbanas e zonas recreativas. Somando-se a isto existem superfícies ainda não modificadas diretamente pela ação antrópica, constituindo-se de fragmentos de vegetação nativa e redes de drenagens originais, as quais são identificadas dentro da categoria cobertura da terra.

3.4. Geotecnologias

Atualmente, as constantes transformações espaciais, representadas pelos diferentes usos e coberturas das terras, são facilmente detectadas pelos satélites imageadores com resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal cada vez melhores (BATISTA; SILVA; SANTOS, 2010), que somadas a evolução e aprimoramento técnico-científico das ferramentas

computacionais, com destaque para as Geotecnologias, contribuem para criar novas formas de tratamento e solução de problemas de representação geográfica.

De acordo com Rosa (2005), as Geotecnologias englobam um conjunto de tecnologias que auxiliam na coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. Estas se tornaram uma ferramenta importante para a tomada de decisões, graças ao desenvolvimento de *hardwares*, *softwares*, bem como de *peopleware*. Dentre as Geotecnologias usuais, atualmente merece destaque o Sistema de Informação Geográfica (SIG), a Cartografia Digital, o Sensoriamento Remoto e o Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Considerando a evolução e o aprimoramento técnico-científico das ferramentas computacionais e, sobretudo o surgimento do Geoprocessamento a partir da segunda metade do século XX, Teixeira e Cerdan (1990, p. 10) expressam que tal tecnologia tem

“[...] revolucionado las formas de abordaje y solución de los problemas de representación geográfica, de cuantificación de datos y de representación de la información obtenida. El potencial de su aplicación es evidente, si consideramos la capacidad para el tratamiento de grandes volúmenes de datos, las facilidades de organización y concentración de la información en las diversas formas de salida disponibles. Otra característica de importancia es la posibilidad de ejecución de estudios tomados en cuenta la variable temporal”.

Moura (2005) acredita que o processamento de dados georreferenciados, desencadeou no progresso da grafia e da representação da Terra, além de viabilizar um novo olhar sobre o espaço, um ganho de conhecimento e informação.

Em particular, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) tornou-se uma técnica aprimorada, permitindo realizar análises muito complexas, até então limitadas pelos meios manuais. A tecnologia do SIG permite a avaliação integrada de uma série de variáveis, resultando em produtos cartográficos de excelente utilidade para o planejamento territorial e ambiental.

Teixeira et. al. (1992) define o SIG como um conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e usuário, perfeitamente integrados de forma a tornar possível a coleta, armazenamento, processamento e análise de dados georreferenciados.

Câmara e Davis (1996) destacam que o SIG possui uma característica única de estabelecer relações espaciais entre os elementos gráficos, conhecida como topologia, a qual descreve a localização e a geometria das entidades de um mapa, e, principalmente, as relações de conectividade, contigüidade e pertinência. Por esse motivo é o sistema mais propício para a análise espacial de dados geográficos.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) está estruturado em três grandes níveis (TEIXEIRA e CERDAN, 1990):

- ✓ Coleta e entrada de dados;
- ✓ Armazenamento e manejo do banco de dados;
- ✓ Análise e produção de informação.

Numa primeira etapa, os dados espaciais obtidos de levantamentos em campo, sensoriamento remoto, aerofotogrametria e mapas pré-existentes são coletados e dispostos no ambiente do SIG. Esses dados são, por conseguinte, armazenados e manipulados no banco de dados, para que, por fim, possam ser analisados e utilizados para a produção de novas informações.

Em relação aos dados manipuláveis em SIG, destacam-se os dados gráficos ou espaciais e os não-gráficos. Os primeiros descrevem a forma e posição da superfície geográfica, enquanto os dados não-gráficos, também chamados de dados alfanuméricos, descrevem os atributos das formas e posição da superfície (CÂMARA e DAVIS, 1996). Os dados espaciais podem ainda ser representados na forma vetorial ou matricial.

O Sensoriamento Remoto constitui-se em uma das fontes mais usuais e disponíveis para se obter dados manipuláveis em um SIG. Segundo Novo (2008), Sensoriamento Remoto é a tecnologia através da qual utiliza um conjunto de sensores instalados a bordo de plataformas para a captação e registro da energia refletida ou emitida pelos alvos terrestres, de modo a conhecer eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta.

As imagens orbitais, com o apoio da cartografia, possibilitam a produção de diversos tipos de mapas. A partir da interpretação de imagens é possível mapear os dados desses produtos sensores transformando-os em diversos mapas temáticos, dentre estes os mapas de declividade, pedologia, geologia e, sobretudo, de uso e ocupação das terras (FLORENZANO, 2007).

3.5. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto

As técnicas de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto são essenciais para extrair ou realçar as informações destas imagens, focado em um determinado fim. Desse modo, as imagens pós-processadas podem ser melhor interpretadas pelos fotointérpretes.

Crósta (1992) define que o processamento digital utiliza-se de técnicas de identificação, extração, condensação e realce de informações, visando atender aos diferentes interesses.

Para Silva (2001), o processamento digital de imagens pretende fornecer ferramentas para identificar e extrair a informação, facilitando a interpretação da imagem, a qual poderá ser usada para se gerar novos produtos.

O processamento de imagens, de acordo com Meneses e Almeida (2012), objetiva melhorar a qualidade espectral e espacial das imagens de sensor remoto a partir de operações matemáticas dos dados, tornando-as adequadas para determinada aplicação.

Moreira (2011) defende a divisão do processamento digital de imagens em três etapas: pré-processamento, classificação digital de imagens e pós-processamento. Segundo o autor, a imagem orbital passa por uma série de correções radiométricas e geométricas em um Laboratório de Geração de Imagens (LGI) antes que elas sejam disponibilizadas aos usuários. Posteriormente, essas imagens são pré-processadas com o intuito de ampliar a qualidade visual das mesmas através de métodos como o realce, filtragem e fusão.

Esta pesquisa adotou, portanto, técnicas de processamento digital de imagens para melhorar a aparência das cenas e assim dar maior eficiência à classificação supervisionada e conseqüentemente à geração dos mapas temáticos de uso e cobertura das terras, uma vez que tal processamento ressalta informações antes não visíveis ao fotointérprete. Desse modo, nos tópicos a seguir são discutidas as técnicas de processamento digital de imagens utilizadas neste trabalho.

3.5.1. Etapa de pré-processamento de imagens: restauração

As imagens orbitais de sensores de média resolução espacial como o TM, ETM+ e CCD estão sendo cada vez mais utilizadas nas pesquisas acadêmicas das últimas décadas, sobretudo em razão da redução dos custos destas imagens, as quais são encontradas

gratuitamente no sítio eletrônico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O catálogo gratuito de imagens fornece aos usuários a disponibilidade de imagens do satélite Landsat, CBERS, Aqua, Terra e entre outros.

Em trabalhos cujo objetivo é mapear as transformações de uso e cobertura da terra ao longo de um período previamente estabelecido, o uso das imagens orbitais mencionadas anteriormente torna-se ainda mais facilitado, uma vez que é possível encontrar imagens antigas e recentes da área estudada, embora o tipo de sensor fique restrito nesses casos.

Vale salientar que as cenas mais antigas, normalmente, encontram-se borradas nas imagens, reduzindo sua visibilidade, além de provocar uma degradação considerada em sua resolução espacial. Logo, torna-se indispensável a correção desses efeitos através do emprego de técnicas de pré-processamento digital de imagens, como a restauração.

De acordo com Moreira (2011, p. 219), “a restauração de imagem consiste em recuperar a cena original que sofreu algum processo de degradação.” Desse modo, os elementos da imagem antes suavizados pelo efeito de degradação serão realçados após o tratamento de restauração.

3.5.2. *Contraste*

Os sistemas sensores são projetados para operarem a uma determinada resolução radiométrica, resultando em imagens com níveis de cinza que podem variar entre 255 e 2048 valores de cinza. No entanto, as diversas condições de iluminação, reflectância dos alvos e bruma atmosférica podem implicar numa concentração dos níveis de cinza em torno de um valor médio, dificultando a visualização das imagens pelo fotointérprete. Assim, para que as informações contidas nestas imagens possam ser extraídas mais facilmente pelo analista humano, é preciso que seus histogramas comprimidos sejam expandidos para todo o intervalo disponível, fazendo-se uso da técnica de aumento de contraste (CRÓSTA, 1992).

Dessa maneira, o aumento de contraste implica na manipulação do histograma da imagem, aplicando funções matemáticas de transferências de contraste, as quais podem ser funções lineares ou não lineares. O aumento linear de contraste altera de forma igualitária a população de níveis de cinza, ao passo que o aumento não linear atua de maneira diferenciada.

Segundo Meneses e Almeida (2012), a função linear de aumento de contraste mantém as relações originais de reflectância dos alvos na imagem realçada, não havendo qualquer

modificação radiométrica. Portanto, trata-se de uma técnica importante quando se pretende realizar análises comparativas entre imagens, como é o caso dessa pesquisa.

Crósta (1992) salienta que o aumento de contraste não revelará novas informações, apenas deixará visível dados que antes passavam despercebidos ao olho humano. É importante destacar também que dependendo da maneira como esse processamento é realizado algumas informações da imagem poderão se tornar ocultas ao intérprete.

3.4.2. Filtragem

As imagens orbitais possuem limites de áreas com diferentes respostas à energia eletromagnética, que se distinguem pelo agrupamento de tonalidades, constituindo diferenças texturais na imagem. Esses limites podem ser observados na imagem, por exemplo, através do contato entre distintas coberturas de uso da terra, como o solo, a vegetação e o urbano (CRÓSTA, 1992 e IBGE, 2001).

De acordo com IBGE (2001) tais limites podem ser bruscos ou suaves, a depender do nível de diferenciação entre as texturas da imagem. As diferenças mais acentuadas e de mudanças bruscas de textura caracterizam as bordas, as quais são mais comuns em áreas com alta frequência espacial, isto é, onde a variação de intensidade (brilho) por unidade de distância é maior. Essa característica se verifica em áreas agrícolas com grande diversidade de cultivos e áreas urbanas.

Diferentemente, há áreas da imagem onde ocorre predominantemente baixas frequências, com menor variação de intensidade por unidade de distância. Essas áreas são mais frequentes em regiões onde existe homogeneidade da cobertura vegetal, tais como monoculturas, reflorestamentos e florestas.

Crósta (1992) salienta que a mesclagem de frequências distintas dificulta a interpretação da imagem, bem como a identificação e distinção de frequências específicas, na maior parte das vezes essenciais ao objetivo do estudo.

Com o intuito de minimizar esses efeitos, as técnicas de filtragem espacial de frequência são empregadas para suavizar ou realçar as feições de alta, média ou baixa frequência, dependendo do interesse do fotointérprete. Essa técnica é muito utilizada para realçar bordas, feições lineares e padrões de textura (CRÓSTA, 1992 e IBGE, 2001).

Entretanto, a detecção de bordas e outras feições depende da diferença entre as intensidades de um pixel e sua vizinhança, a qual é definida por uma janela de tamanho ímpar $n \times n$ (3×3 , 5×5 e 7×7).

Nos sistemas de processamento digital de imagens, normalmente, a filtragem é realizada mediante o uso de uma máscara (matriz de pesos), que é sobreposta à imagem. Desse modo, o produto dos pesos da máscara pelos valores de intensidade dos pixels é somado, atribuindo o valor da soma ao pixel correspondente à posição central da máscara e posteriormente para todos os pixels da imagem, gerando-se uma nova imagem com determinadas feições de frequência realçada. Esse procedimento é ilustrado pela figura 1.

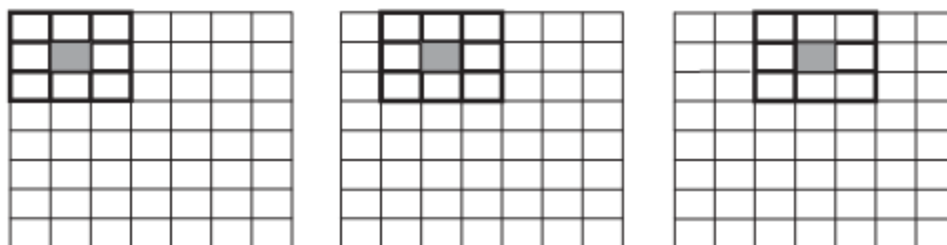


Figura 1: Aplicação de máscara 3×3 para realização de filtragem. O quadriculado em cinza representa o pixel central.

Fonte:MENESES; ALMEIDA, 2012

No Spring o usuário é livre para projetar suas próprias máscaras, podendo também optar por filtros já estabelecidos pelo sistema, os quais se dividem em filtros lineares, não lineares e radar. A tabela 3 revela os principais filtros operantes nos *softwares* de processamento digital de imagens.

Tabela 3: Principais filtros usados em sensoriamento remoto.

| Classe | Tipo | Aplicação |
|--|--|--|
| Domínio do Espaço (operador de convolução) | Passa alta | Realce da imagem |
| | Passa baixa | Supressão de ruído |
| | Direcional/linear | Realce de bordas nas direções horizontal, vertical e diagonal. |
| | Primeira derivada gradiente de: Roberts, Sobel, Prewit | Realce de Bordas por operador não linear |
| | Laplaciano | Realce de bordas sem especificar direção |
| Domínio do Espaço (operador não convolução) | Morfológicos | Dilatação ou erosão da imagem |
| | Texturais | Realce das variações espaciais dos tons da imagem |
| | Adaptativos | Supressão de ruído com preservação do detalhe local |

| | | |
|-----------------------|---------|--|
| Domínio da Frequência | Fourier | Realce em relação à proporção da informação associada com as frequências |
|-----------------------|---------|--|

Fonte: MENESES; ALMEIDA, 2012

O filtro linear realce de imagem TM, empregado nesta pesquisa, é um recurso de filtragem do tipo passa alta presente no *software* SPRING, o qual consiste em eliminar as feições de baixa frequência, realçando as de alta frequência, constituídas por bordas ou limites entre áreas de diferentes valores de nível de cinza.

Assim como em qualquer outro filtro, a dimensão da máscara utilizada no processo de filtragem define o nível de detalhe do realce. No caso de identificação de tipos de uso e cobertura da terra, os filtros passa alta são os mais indicados, já que facilitam a distinção de padrões de uso da terra.

3.4.3. Composição RGB

A composição colorida de imagens de satélite é uma das técnicas primordiais e indispensáveis para qualquer análise interpretativa. Isso porque o olho humano é capaz de distinguir milhares de intensidade e variabilidade de cores, enquanto discerne apenas 30 diferentes níveis de cinza.

Diante disso, Crósta (1992) ressalta que o intérprete deve tomar conhecimento de três propriedades básicas de uma imagem de sensoriamento remoto: a tonalidade, representada pela cor; a textura, que seria a magnitude e frequência dos tons da imagem, e por fim o contexto em que os tons, texturas e padrões são distribuídos espacialmente.

As bandas de um satélite podem ser combinadas de tal modo que a imagem resultante seja colorida. Usa-se um triplete de bandas, cada uma associada aos canais de cores correspondentes ao azul, verde e vermelho do monitor. Esse procedimento é conhecido como RGB (*red, green, blue*) (MENESES; ALMEIDA, 2012).

O sistema de cores RGB permite que o usuário explore as mais variadas combinações possíveis entre as bandas do sensor e as três cores básicas (azul, verde e vermelha), porém é necessário que analista tenha um conhecimento apurado do comportamento espectral dos alvos, avaliando, portanto, qual a combinação que mais favorecerá a sua análise. As combinações coloridas verdadeiras nem sempre são as mais adequadas, muitas vezes uma

composição falsa cor revela características imprescindíveis para a compreensão do vigor da vegetação, por exemplo.

3.4.4. Registro

O Georreferenciamento e o registro de imagens são as etapas que precedem qualquer análise espacial e temporal. Embora possam parecer sinônimos é preciso compreender a diferenciação que há entre ambos.

O Georreferenciamento consiste em tornar conhecidas as coordenadas quaisquer de um mapa ou imagem para um dado sistema de referência plana através de transformações geométricas simples, as quais amenizam distorções geométricas e radiométricas ocasionadas pela rotação da terra durante o tempo de imageamento, instabilidade de posicionamento da plataforma, campo de visada do sensor (IFOV) e curvatura da Terra (MENESES; ALMEIDA, 2012).

O processo de Georreferenciamento de imagens ou mapas requer, inicialmente, a definição de um Datum de referência e posteriormente a coleta de pontos de controle, que constituem feições perfeitamente identificáveis na imagem e no terreno, tais como intersecções de rodovias, quadras, barramentos, edifícios proeminentes etc.

Por outro lado, o registro de imagens é mais utilizado em sensoriamento remoto para análises multi-temporais ou para combinação de imagens de multi-sensores para uma mesma área. A partir desse processo, os pixels de ambas as imagens tornam-se correspondentes entre si e com a área do terreno a que se referem (CRÓSTA, 1992).

3.4.5. Classificação

Os diferentes elementos constituintes da paisagem são registrados pelos sensores orbitais através de seus comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, os quais refletem diferentes propriedades de cor, tonalidade, textura, estrutura, sombra e homologia na imagem (CRÓSTA, 1992 e MENESES; ALMEIDA, 2012).

A partir dessas características dos alvos expressas nas imagens de sensoriamento remoto é possível realizar uma classificação automática dos *pixels* que compõem as imagens de maneira a associá-los a uma classe pertinente ao objeto real (CRÓSTA, 1992 e IBGE, 2001). Essa técnica é utilizada para estabelecer uma associação entre pixels com respostas

espectrais similares, a qual pode ser aplicada no mapeamento de uso e cobertura das terras, tipos de vegetação, rochas e qualquer outra finalidade que vise o estabelecimento de classes.

Com base em Crósta (1992, p. 107) pode-se dizer que:

“[...] uma imagem de sensoriamento remoto classificada é uma forma de mapa digital temático. Quando essa imagem é reorganizada para se ajustar à uma dada projeção cartográfica, torna-se um importante elemento para ser incorporado a um sistema geográfico de informações”.

A classificação de imagens multiespectrais pode ser realizada por meio de duas abordagens, uma supervisionada e outra não-supervisionada, as quais se diferem pelo nível de participação do analista.

A primeira, classificação supervisionada, o usuário possui um reconhecimento geral da área analisada, sendo ele o responsável pela coleta de amostras de treinamento, as quais vão servir de base para o computador agrupar os conjuntos de *pixels* ou regiões de similaridade mais representativos para a classe de interesse. Estas classes são definidas a priori e o classificador buscará enquadrar cada *pixel* ou região a uma classe. (IBGE, 2001).

Dependendo do classificador, o reconhecimento dos *pixels* a cada classe estabelecida pode ser efetuado por parâmetros estatísticos (média, matriz de covariância) ou apenas por nível máximo e mínimo de cinza (MOREIRA, 2011). Vide figura 2:

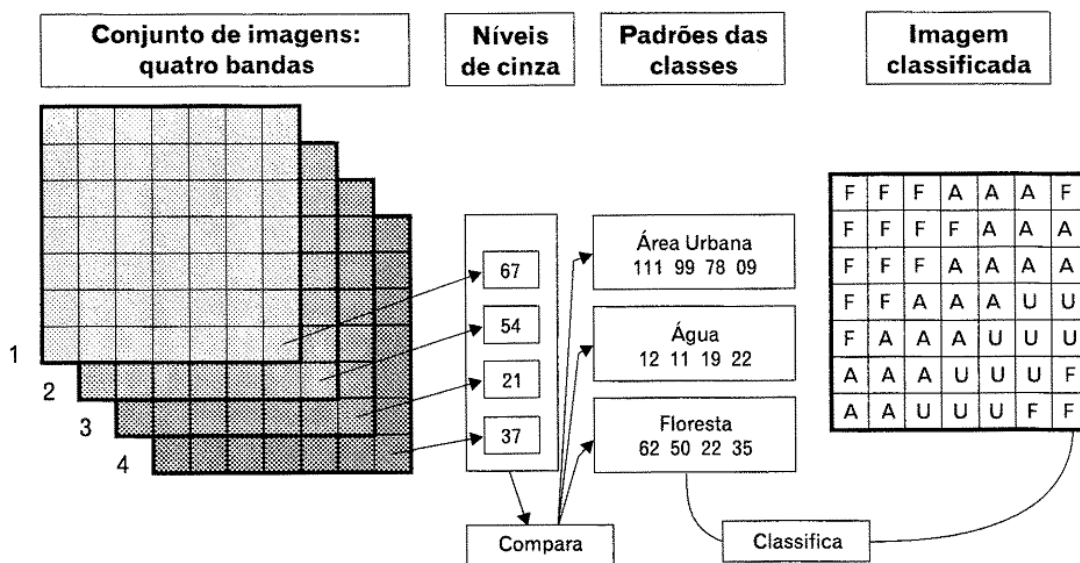


Figura 2: Metodologia empregada na classificação supervisionada.

Fonte: IBGE, 2001.

Os diferentes classificadores disponíveis nos sistemas de processamento digital de imagens podem ser divididos ainda com base no método utilizado para a distribuição espacial dos *pixels* às classes dos objetos reais. Nos classificadores *pixel a pixel*, segundo Moreira (2011), os pixels são analisados como se fossem uma identidade isolada e independente dos demais *pixels* que compõem a imagem, sendo eles associados então a uma determinada classe do conjunto de treinamento. Os classificadores mais usuais que utilizam essa técnica são: paralelepípedo, distância mínima, máxima verossimilhança e Maxver ICM.

Há também classificadores que se utilizam do método de regiões, em que o critério de classificação se baseia nas informações espectrais dos *pixels* da imagem, bem como da relação entre este e os *pixels* vizinhos. Desse modo, as regiões são delimitadas a partir da borda das imagens. Em seguida, as propriedades espaciais e espectrais são usadas para agrupar regiões com mesma textura (MOREIRA, 2011).

Anterior ao procedimento de classificação por regiões, a segmentação de imagens visa definir regiões espectralmente homogêneas na imagem para posteriormente serem utilizadas como treinamento do classificador, diminuindo a subjetividade presente durante a definição das amostras de treinamento. Esse processo, portanto, permite que sejam alcançados índices de exatidão mais aceitáveis para a classificação digital de imagens (MOREIRA, 2011 e MENESES; ALMEIDA, 2012).

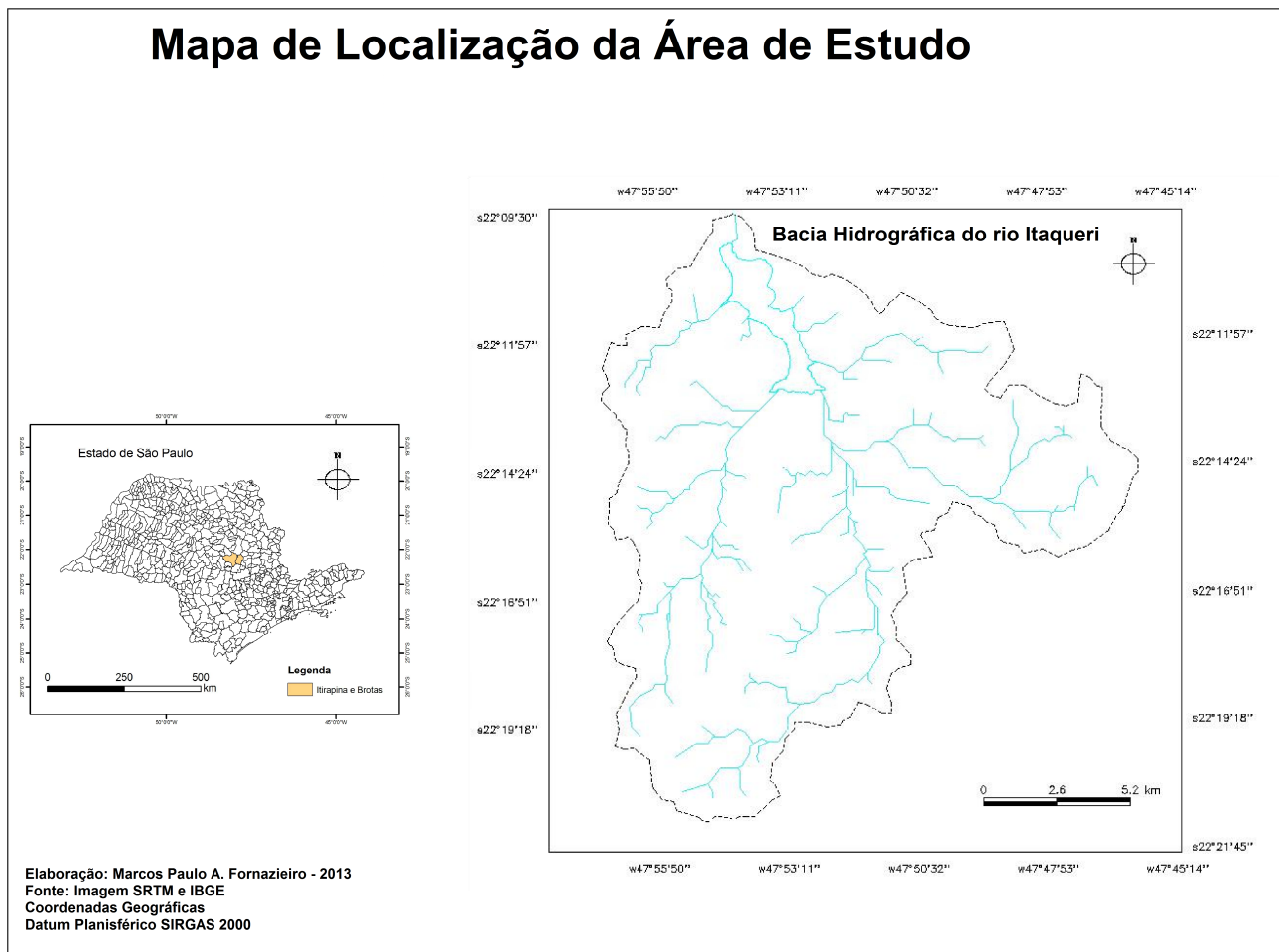
4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização geográfica da área de estudo

Esta pesquisa adotou como unidade de estudo a bacia hidrográfica do rio Itaqueri, a qual se limita ao sul com as bacias dos rios Jacaré Pepira e Passa-Cinco. Seu curso d'água principal é o rio Itaqueri, tendo como afluentes o ribeirão do Lobo, Córrego da Água Branca e Córrego do Geraldo, cujas águas alimentam a represa do Lobo, situada próximo ao exutório da bacia.

A bacia em estudo está localizada entre coordenadas geográficas 22°21'32" S; 47°58'13" W e 22°9'18" S; 47°44'59" W, na porção central do estado de São Paulo, entre os municípios de Itirapina e Brotas, conforme figura 1.

Mapa de Localização da Área de Estudo



4.2. Características físicas da área de estudo

De acordo com a subdivisão geomorfológica do Estado de São Paulo proposta pelo IPT (1981), a bacia hidrográfica do rio Itaqueri pertence a província das Cuestas Basálticas, a qual apresenta relevo escarpado nos limites com a Depressão Periférica.

Observa-se através do mapa hipsométrico (figura 2) que a região é caracterizada por um relevo levemente ondulado e de baixa declividade, sendo que as maiores altitudes estão concentradas junto às nascentes do ribeirão do Lobo e do rio Itaqueri, ao sul da bacia hidrográfica. No entorno do reservatório a altitude não ultrapassa os 850 metros.

Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica da represa do Lobo

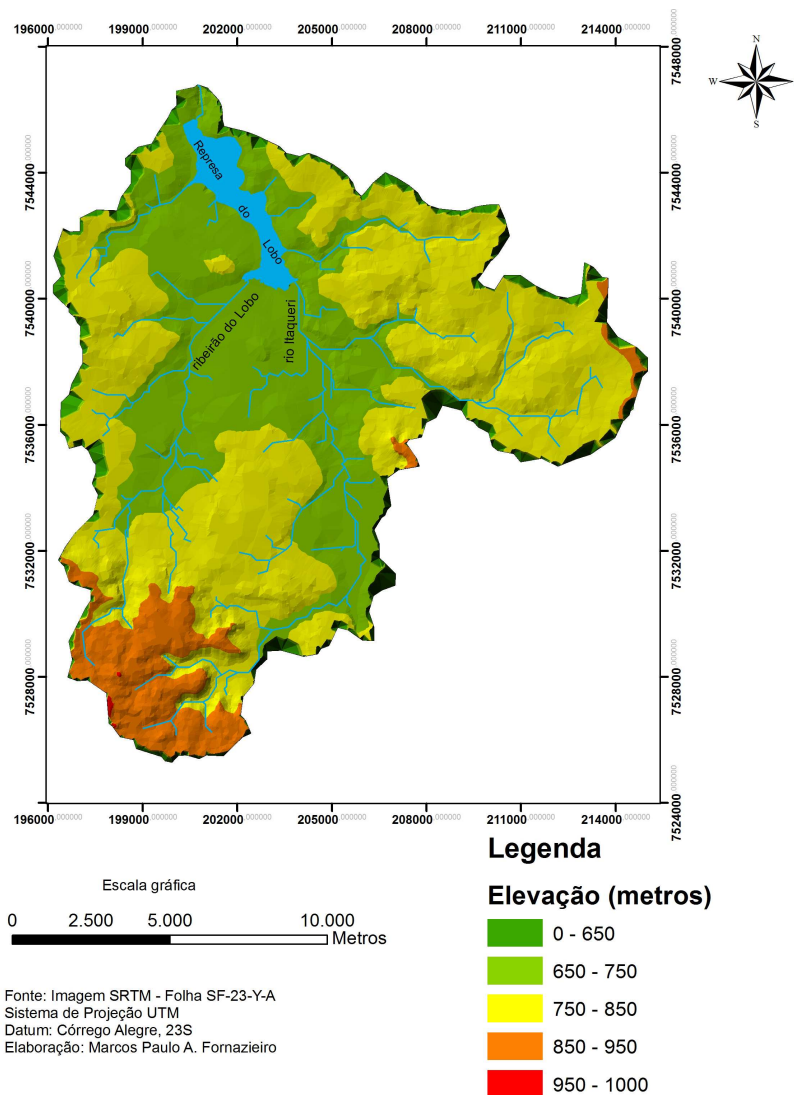


Figura2: Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Itaqueri (FORNAZIEIRO, 2013).

Os aspectos geológicos da região constituem-se, predominantemente, das formações areníticas Pirambóia e Botucatu, bem como os derrames e intrusivos de basalto da Formação Serra Gera.

A Formação Pirambóia, cuja datação remete-se ao período Triássico, estende-se por toda a Depressão Periférica Paulista. A unidade é caracterizada pela presença de arenitos finos e médios, com níveis conglomeráticos, de cores avermelhadas e amareladas. Segundo Caetano-Chang (1997), a Formação Pirambóia foi constituída predominantemente por fácies eólicas (de dunas, interdunas e de lençóis de areia), e de maneira bastante tímida também por fácies fluviais (*wadis* e canais entrelaçados). Quanto à composição faciológica, a autora

descreve que há uma crescente aridização/aridificação em direção ao topo da Formação Pirambóia, com a passagem de amplas condições de sub-saturação em areias para condições de dominância de deposição de campos de dunas. A estratificação é do tipo cruzada e de origem eólica e corrente aquosa em ambientes continentais do início do Mesozóico.

Já a Formação Botucatu é uma faixa contínua da geologia do Estado de São Paulo disposta sobre a Formação Pirambóia. É constituída quase que totalmente por arenitos de granulação fina a média. Os sedimentos dessa formação foram depositados pelo vento, formando um grande deserto com campos de dunas. Este ambiente se manteve até as manifestações vulcânicas. Após os primeiros derrames, as areias continuaram a ser movimentadas, formando os arenitos interderrames (IPT, 1981).

Próximo ao exutório da bacia tem-se, predominantemente, a Formação Serra Geral, a qual é representada por rochas vulcânicas toleíticas dispostas em derrames basálticos de coloração cinzenta a preta e apresenta estratificação cruzada tangencial (CPMR, 2003).

Em relação à pedologia, verifica-se a predominância de Neossolos Quartzarênicos, de textura basicamente arenosa. Ocorre também o Latossolo Vermelho Amarelo Álico de textura média, os Organossolos e em menor proporção o Latossolo Vermelho predominantemente argiloso (VICENTE; SOUZA FILHO e PEREZ FILHO, 2006).

Os Neossolos Quartzarênicos ou Areias Quartzozas são solos, cuja origem está associada a depósitos arenosos. De maneira geral, caracterizam-se por sua textura arenosa e arenosa fraca. São solos formados essencialmente por grãos de quartzo e constituídos por minerais primários pouco resistentes ao intemperismo. Por apresentarem baixa capacidade de agregação de partículas, os Neossolos Quartzarênico são muito suscetíveis à erosão. Nas áreas de cabeceira de drenagem, por exemplo, geralmente dão origem a grandes voçorocas (EMBRAPA, 2009).

O Latossolo Vermelho Amarelo Álico, por sua vez, caracteriza-se pela coloração vermelho amarelada em razão dos baixos teores de óxido de ferro (hematita – Fe_2O_3) e maiores concentrações de goethita (FeO_2H). São comuns em relevos ondulados e fortemente ondulados. Os latossolos do tipo álico apresentam saturação de alumínio superior a 50%. Também, alto grau de agregação dos colóides, o que resulta numa alta porosidade e garante boa resistência à erosão.

Os Organossolos possuem forte presença de material orgânico, constituindo um horizonte hístico de mais de 40 cm. Caracterizam-se pela alta saturação hídrica durante a maior parte do ano e na maioria dos anos. São solos comumente encontrados em planícies

aluviais e considerados de alta erodibilidade. Todavia, espera-se registrar baixas taxas de erosão para este tipo de solo, já que o relevo em que se encontra proporciona certa estabilidade mecânica. Na literatura, são raros os estudos referentes aos Organossolos, talvez por sua toxicidade e hidromorfismo, fator que limita o uso agrícola e inibe incentivos à pesquisa (EMBRAPA, 2009; SILVA e ALVARES, 2005).

Segundo Soares et al. (2003), o clima da bacia é controlado por massas de ar equatorial e tropical, estabelecendo períodos secos nos meses de maio a outubro e períodos bastante úmidos de novembro a abril. Assim, com base na classificação climática de Köppen, o clima da região pode ser classificado como do tipo Cwb, ou seja, subtropical mesotérmico, com verão quente e úmido e inverno seco.

4.3. Caracterização socioambiental da área de estudo

A região em estudo, no que refere ao uso e ocupação das terras, foi palco de profundas alterações paisagísticas. O cerrado, vegetação que cobria toda a bacia hidrográfica, foi degradado e hoje cede espaço para pastagens, reflorestamento e zonas agrícolas. Destaca-se a criação da Estação Experimental de Itirapina e posteriormente a Estação Ecológica de Itirapina como ações que mais contribuíram para as atuais transformações. A primeira, criada em 1957 pelo governo estadual, compreendia uma área de aproximadamente 321.000 ha, cujo objetivo era a consolidação da pinocultura no estado de São Paulo. Mais tarde, em 1984, a Estação Ecológica de Itirapina foi consolidada por um programa institucional que buscava a criação de novas categorias de manejos de unidades de conservação da natureza (MACHADO, 1997).

Desde então, verificou-se uma tendência à expansão das culturas agrícolas e do reflorestamento em detrimento da cobertura vegetal nativa, como o cerrado, a mata, o campo sujo e as áreas de várzea. O reflorestamento por pinus e eucalipto que avançam sobre o cerrado já começa a alcançar as margens da represa e as matas até então preservadas nos *front* das cuestas e morros testemunhos. Observa-se o assoreamento a montante da represa em consequência do avanço dos pinus e eucalipto. As culturas agrícolas, por outro lado, concentram-se ao redor da cidade de Itirapina e as pastagens localizam-se principalmente no centro-sul da área (MACHADO, 1997).

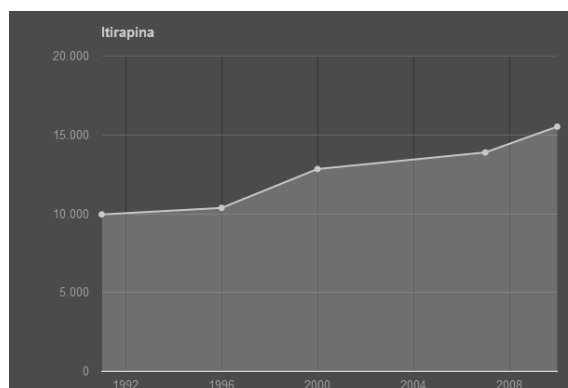
É relevante enfatizar que os municípios de Itirapina e Brotas e, conseqüentemente, também a bacia hidrográfica do rio Itaqueri estão dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) do Corumbataí, Botucatu e Tejubá estabelecida pelo Decreto Estadual nº 20.960 de 8 de Junho de 1983 (SCHMITT, 2005). Por esse motivo, a área tem usos limitados, respeitando as diretrizes estabelecidas para a APA, que, segundo artigo 15º da Lei nº 9.985 de 2000, consiste em uma

“[...] área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais, especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais”.

A ocupação do solo da bacia do rio Itaqueri é composta predominantemente por atividades agrícolas, tais como cultivos sazonais e pastagens, além de zonas urbanas de baixa e média densidade, representadas essencialmente pela cidade de Itirapina e pelo Balneário Santo Antônio, situado ao entorno da represa do Lobo.

A evolução demográfica de Itirapina (Gráfico 1) foi expressiva nas últimas duas décadas, registrando um aumento populacional superior ao do Brasil. Entre os anos de 1991 e 2010 o município de Itirapina teve um crescimento superior a 50% em relação ao número total de habitantes, segundo IBGE (2010).

Gráfico 1: Evolução demográfica do município de Itirapina/SP.



Fonte: IBGE (2010).

Com base nos registros demográficos do IBGE (1991 e 2010), dos 9.953 habitantes residentes no município de Itirapina no ano de 1991, havia 8.686 residentes na área urbana (87,3%) e 1.267 (12,7%) na área rural, ao passo em que em 2010 o município registrava 14.001 habitantes urbanos (90%) e 1.523 moradores rurais (10%), totalizando 15.524 habitantes. Fica evidente, portanto, o crescimento urbano da cidade de Itirapina, cujo perímetro urbano encontra-se quase que totalmente dentro da bacia hidrográfica do rio Itaqueri, conferindo significativa pressão nos recursos naturais.

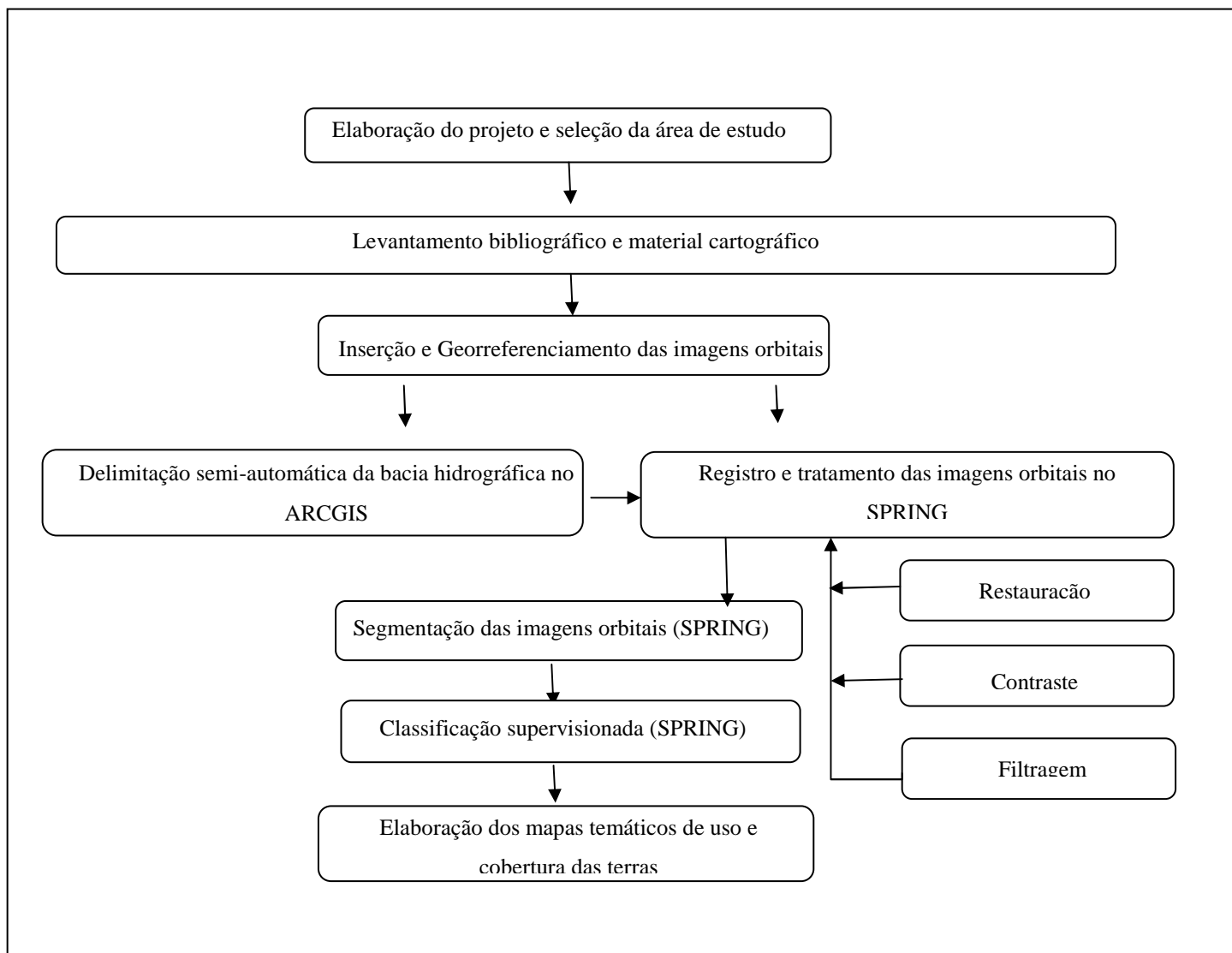
No entorno da represa do Broa/Lobo, a qual está inserida dentro da bacia hidrográfica em estudo, encontra-se também o Balneário Santo Antônio, configurando-se como uma zona urbana de baixa densidade demográfica e de baixa edificação.

No entanto, nas últimas décadas tem-se verificado um fenômeno de parcelamento irregular do solo no balneário, fruto da especulação imobiliária e do turismo desenfreado que vem predominando no entorno da represa, causando danos ambientais e urbanísticos ao local.

Para Azevedo (2010) a região é composta de um rico sistema natural com atributos naturais ímpares, o que justifica o enquadramento da mesma na APA Corumbataí/Botucatu/Tejupá. Nesse sentido, a área oferece oportunidades para pesquisas científicas que se firmaram há décadas nos estudos dos ecossistemas e inter-relações ecológicas. Destaca-se também o desenvolvimento turístico em razão da represa do Broa/Lobo, belos riachos, cuevas basálticas, cerrado e matas galerias. O autor avalia que se por um lado as pesquisas científicas prezam por uma conservação ambiental, por outro, o uso turístico na área tem apresentado deficiências de identidade, gerando impactos ambientais negativos e de cunho cumulativo.

4.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados neste estudo estão destacados no fluxograma 1.



Fluxograma 1: Fluxograma sintetizando os procedimentos metodológicos empregados nesta pesquisa.

4.5. Material

O material utilizado para o desenvolvimento deste trabalho foi adquirido junto ao catálogo de imagens orbitais do INPE, disponível gratuitamente no endereço eletrônico do instituto, na prefeitura de Itirapina e na biblioteca da UNESP, câmpus de Rio Claro/SP. A seguir estão relacionados os materiais envolvidos nas etapas de pesquisa.

- ✓ Imagem do satélite Landsat, sensor TM relativa ao ano de 1989 (data: 17/05/1989), a qual foi registra com a imagem de 2009 também do satélite 2009,

para que em seguida fosse realizado os processos de tratamento das mesmas e classificação;

- ✓ Imagem do satélite Landsat, sensor TM relativa ao ano de 2009 (data:12/08/2009), registrada com a imagem de 1989 também do sensor TM;
- ✓ Fotografia aérea da represa do Lobo e entorno de 2009, resolução espacial aproximada de 1 metro e escala de 1:2.000, a qual foi utilizada para a geração do mapa de uso e cobertura das terras do entorno da represa do Broa, com um nível maior de detalhamento das feições geográficas;
- ✓ Imagem SRTM da área de estudo para a extração da rede de drenagem e curvas de nível, dados que subsidiaram a delimitação semi-automática da bacia hidrográfica;
- ✓ SIG/SPRING– *software* que ofereceu os recursos técnicos para o tratamento, manipulação e análise espacial das imagens orbitais e elaboração dos mapas temáticos de uso e cobertura das terras;
- ✓ SIG/ARCGIS – *software* utilizado para tratamento da imagem SRTM e delimitação da bacia hidrográfica;
- ✓ GPS – instrumento relevante para as pesquisas de campo, visando o georreferenciamento e à verificação dos dados mapeados.

4.6. Procedimentos Metodológicos

Destaca-se que esta pesquisa se baseou em um método empírico-analítico, que parte da lógica empírica e da experimentação e cujo objetivo é distinguir os elementos de dado fenômeno e os rever de modo separado. Desse modo, encontram-se discriminados abaixo os procedimentos metodológicos que visaram atender a todos os objetivos propostos, fazendo-se uso, portanto, de referências bibliográficas acerca da temática estudada e etapas instrumentais através de técnicas de processamento digital de imagens orbitais e geoprocessamento.

4.6.1. Levantamento de dados bibliográficos e cartográficos

A fim de analisar o processo de mudança de uso e cobertura das terras da bacia hidrográfica do rio Itaqueri, esta pesquisa tratou de investigar estudos sobre a temática, visando à elaboração de uma base teórica e uma revisão bibliográfica que sustentasse esta tese. Além disso, buscaram-se referências metodológicas para o tratamento das informações

espaciais, sobretudo relacionadas ao processamento digital de imagens orbitais, classificação supervisionada e elaboração dos mapas temáticos. Também nesta etapa, foram coletados materiais cartográficos e de sensoriamento remoto, tais como imagens orbitais e infométricas referentes à área de estudo, as quais possibilitaram o mapeamento dos usos e coberturas das terras da bacia em pesquisa.

4.6.2. Registro e Tratamento das Imagens Orbitais

Para que as imagens de satélite Landsat TM correspondentes aos anos de 1989 e 2009 coletadas no catálogo de imagens do INPE pudessem ser inseridas no *software* de SIG – Sistema de Informação Geográfica – SPRING foi preciso, inicialmente, criar um banco de dados e um projeto, neste último definindo o sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM), o datum planimétrico SIRGAS 2000 e o retângulo envolvente.

As imagens foram georreferenciadas com base no mosaico de cartas topográficas do IGC na escala de 1:10.000 previamente georreferenciadas no *software* ARCGIS. Esta etapa prevê uma transformação geométrica das coordenadas da imagem (x, y) em coordenadas de um sistema de referência.

Em seguida, as imagens dos anos 1989 e 2009 foram registradas entre si para que uma cena se ajustasse perfeitamente à outra, o que é essencial para qualquer análise multi-temporal. Para isso, foram coletados pontos de controle facilmente identificados em ambas as imagens, como interseções de estradas, rios, trevos, entre outros.

Como pode ser observado na figura 3, foram coletados 8 pontos bem distribuídos na imagem, alcançando um erro igual a 0,296 metro.



Figura 3: Pontos de controle e erro padrão médio alcançado na etapa de registro das imagens orbitais.

Também nesta etapa, foram aplicadas técnicas de tratamento digital de imagens com o intuito de melhorar a aparência das imagens, facilitando o trabalho de classificação e ressaltando informações imprescindíveis ao estudo.

Primeiramente, empregou-se a restauração de imagens, cuja finalidade é restabelecer a qualidade original, bem como a resolução espacial das mesmas que pode ter sido comprometida pelo tempo. Assim, acessou-se o caminho *Imagem > Restauração* no SPRING.

Na sequência, aplicou-se o contraste por meio da função *Imagem > Contraste* a fim de redistribuir os níveis de cinza da imagem, os quais tendem a permanecer concentrados em um dado intervalo do espectro. Assim, os histogramas de todas as bandas das imagens foram manipulados pela operação linear, buscando um equilíbrio entre os níveis de cinza, conforme ilustra a figura 4.

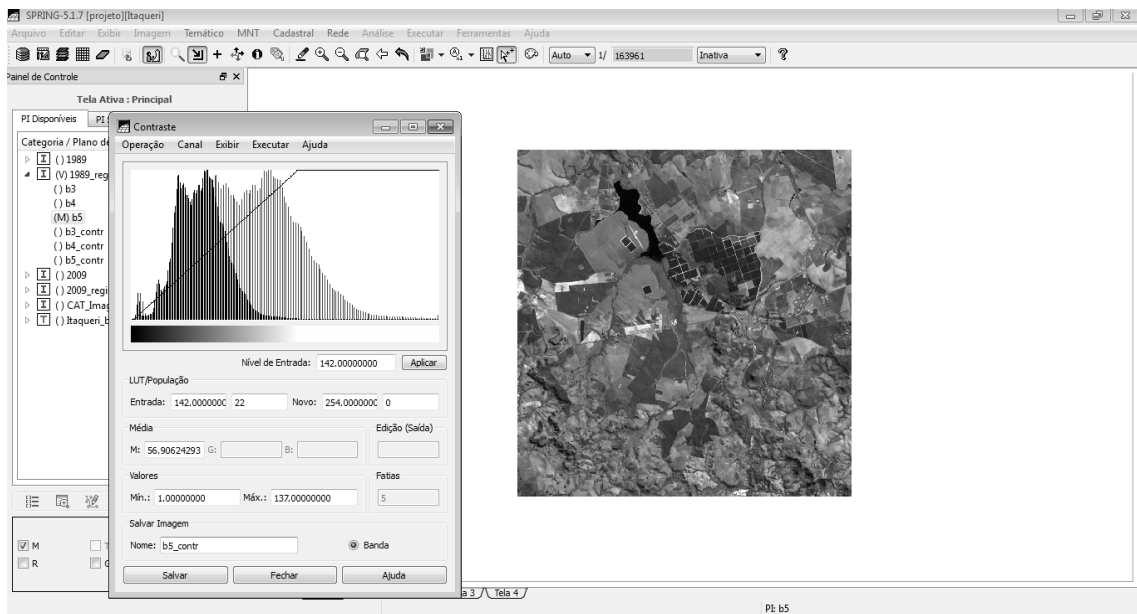


Figura 4: Aplicação de contraste em imagem orbital do satélite Landsat TM.

Em seguida, adotou-se o filtro linear realce de imagem TM, sendo um recurso de filtragem do tipo passa alta. Logo, as feições de baixa frequência presentes nas imagens foram eliminadas, ao passo que as de alta frequência foram realçadas, permitindo ressaltar as bordas e limites entre áreas de diferentes valores de nível de cinza, o que é essencial para identificar o limite entre usos e coberturas das terras.

4.6.3. Delimitação da área de estudo

Adotou-se a bacia hidrográfica do rio Itaqueri como área de estudo para o desenvolvimento desta pesquisa. Desse modo, foi preciso recortar as imagens de satélite Landsat TM com base na delimitação da bacia hidrográfica realizada no *software* ARCGIS. Este processo se deu a partir da extração automática da rede de drenagem presentes na imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

Num primeiro momento, buscou-se corrigir possíveis erros presentes no MNT (Modelo Numérico de Terreno), em razão do desempenho deficitário do radar, que tende a ser maior quanto mais acidentado o relevo. Este procedimento foi realizado por meio da função *fillsinks*, a qual, segundo Sobrinho et al. (2010), ao considerar as altitudes dos pixels vizinhos para preencher os *sinks* (depressões) cria então um MNT com melhor consistência.

Em seguida, foi adquirida a direção de fluxo da água da rede drenagem através da função *flowdirection*. Com isso, fica definida a direção do escoamento da água nas vertentes.

O próximo procedimento consistiu na geração do fluxo acumulado a partir da ferramenta *flowaccumulation*, buscando reconhecer o grau de confluência do escoamento, este associado à conexão com os divisores de água e com a confluência e divergência das linhas de fluxo.

Após esses processos, são geradas as redes de drenagem em formato *raster* pelo caminho *SpatialAnalyst>Conditional>Con* e na sequência convertida para o formato *shape*.

Foi preciso também criar um *shape* em formato ponto com o intuito de marcar na rede de drenagem o exutório da bacia hidrográfica.

Por fim, o delineamento da bacia hidrográfica (Figura 5) se deu pela função *Watershedda* extensão *Hidrology* do ARCGIS.

4.6.4. Segmentação de Imagens

O processo de segmentação de imagens é anterior a etapa de classificação e visa a subdivisão da imagem em regiões espectralmente e espacialmente homogêneas, levando-se em consideração o limiar de similaridade e o tamanho de área.

O limiar de similaridade busca definir a diferença mínima entre o valor de um pixel e a média do valor dos pixels que compõem a região para verificar se aquele pertence a esta região. Já o tamanho da área determina o menor valor de área em número de pixels que deve ser considerado na separação entre duas regiões (SPRING, 2011).

A fim de obter um limiar de partida foi realizado um breve reconhecimento das imagens orbitais usadas no trabalho, recolhendo amostras espectrais dos pixels que compõem as futuras classes temáticas, conforme tabela 4. Posteriormente, foi calculado o desvio padrão entre os valores dos pixels correspondentes a cada banda (Blue, Green, Red), os quais permitiram aferir acerca da dispersão estatística em relação à média.

Tabela 4: Desvio Padrão para os valores das bandas RGB das classes temáticas.

| | Agricultura | | | Campo/Pastagem | | | Reflorestamento | | | Mata | | | Solo | | | Área urbana | | | Água | | |
|--|-------------|------|------|----------------|-----|-----|-----------------|------|------|------|-----|-----|------|-----|-----|-------------|------|------|------|------|-----|
| | B | G | R | B | G | R | B | G | R | B | G | R | B | G | R | B | G | R | B | G | B |
| Valor do pixel para as bandas P,C,B | 57 | 142 | 97 | 77 | 111 | 118 | 20 | 106 | 41 | 51 | 109 | 40 | 159 | 131 | 199 | 170 | 166 | 245 | 52 | 33 | 5 |
| | 54 | 142 | 97 | 67 | 110 | 139 | 13 | 111 | 0 | 47 | 116 | 27 | 153 | 149 | 197 | 130 | 152 | 254 | 55 | 19 | 3 |
| | 52 | 171 | 67 | 79 | 105 | 118 | 21 | 150 | 19 | 45 | 102 | 34 | 156 | 134 | 192 | 165 | 144 | 233 | 24 | 13 | 3 |
| Desvio Padrão | 2,5 | 16,7 | 17,3 | 2 | 3,8 | 7,5 | 4,4 | 24,1 | 20,5 | 3,1 | 7,0 | 6,5 | 3 | 9,6 | 3,6 | 21,8 | 11,1 | 10,5 | 17,1 | 10,3 | 1,2 |

Os maiores índices de dispersão espectral ocorreram dentro das classes reflorestamento e área urbana, as quais registraram valores de 24,1 e 21,8 de desvio padrão. As demais classes apresentaram desvio padrão abaixo de 18.

Partindo-se destes pressupostos foram realizados alguns testes no algoritmo, buscando determinar o melhor limiar de similaridade de acordo com o comportamento dos principais alvos presentes na cena de estudo.

Logo, com base nos resultados do desvio padrão da tabela 10, definiu-se como índice de partida o limiar 4, afim de representar os menores índices de dispersão e assim verificar se a segmentação seria apropriada para a área de estudo como um todo. Em seguida, foram testados os índices 8, 16 e 24.

O objetivo dos testes foi definir valores não muito maiores ou menores do que aqueles alcançados pelos cálculos de desvio padrão, já que, segundo Oliveira (2002), os valores de limiares muito baixos podem apresentar uma fragmentação excessiva dos polígonos, tornando as regiões visualmente confusas. Por outro lado, os valores altos de limiares acabam agregando segmentos de regiões espectralmente muito distintos, podendo ocorrer perdas de informação.

Com relação ao tamanho da área, o autor (op. cit.) revela que o valor deve ser estabelecido levando-se em conta a escala de trabalho. Nesse caso, considerou-se a escala de 1:100.000 do sensor TM para definir os valores de limiar de área, o qual variou entre 100 e

200. Assim, foram cruzados os valores estabelecidos para o limiar de similaridade e área conforme diagrama 1.

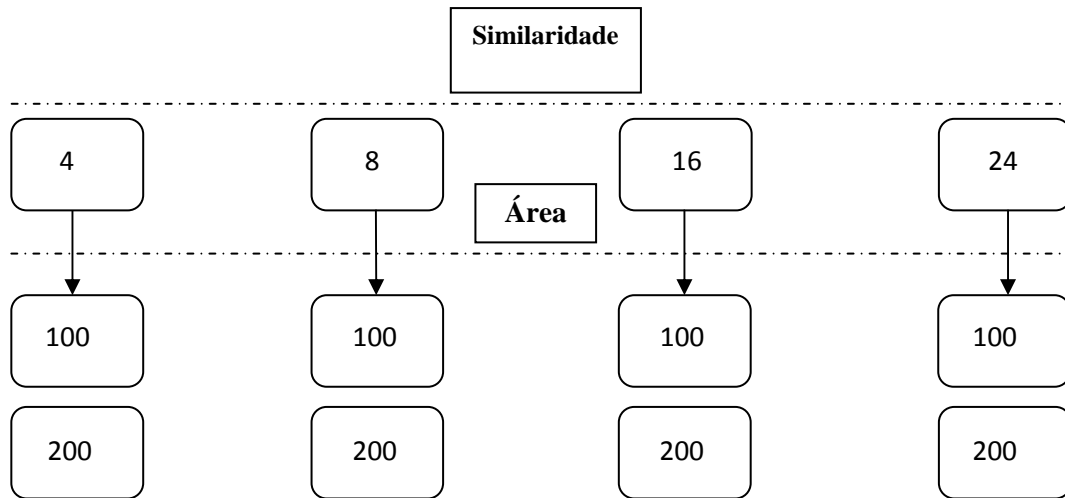


Diagrama 1: Combinações dos pares de limiares de similaridade e área testados para a segmentação da imagem.

A partir das combinações entre os limiares de similaridade e área foi possível aferir a que mais se adequou à área de estudo, refletindo o comportamento dos diferentes alvos presentes na cena, sem perder informações relevantes nem fragmentar excessivamente a imagem.

Desse modo, adotou-se o limiar de similaridade 8 e área 100, como mostra a figura 5, limiar que se mostrou bastante satisfatório, permitindo identificar pequenas áreas com usos significativas para o estudo, como pequenos núcleos urbanos, pequenos lagos e vegetações de várzea, o que não foi possível com a adoção de limiares maiores, uma vez que a variação espectral de pequenas áreas acabaram sendo generalizadas e agrupadas regiões maiores e mais predominantes.

Quanto ao limiar 4, observou-se que a imagem ficou super fragmentada, a ponto de haver separação de grupos pertencentes a mesma classe de uso. Assim, durante o processo de segmentação, os diferentes estados de vigor da vegetação acabaram sendo diferenciados, o que não era o intuito desta pesquisa, a qual visa apenas classificar os usos e coberturas da terra.

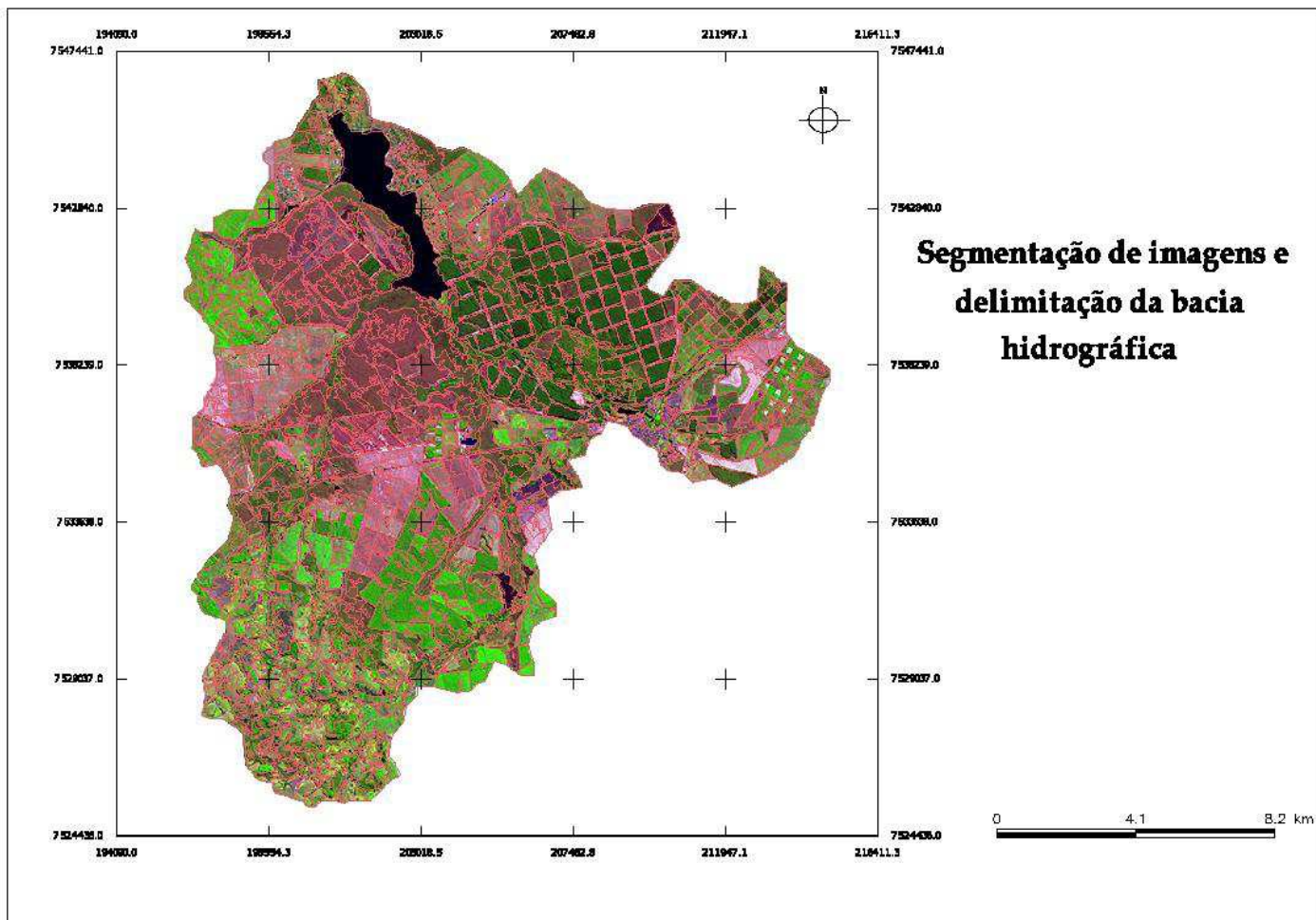


Figura 5: Delimitação da bacia hidrográfica do rio Itaqueri e segmentação de imagens adotada.

4.6.5. Classificação supervisionada

Depois de concluído o registro, tratamento das imagens e realizada a segmentação das mesmas, investiu-se na etapa de classificação digital. Esta etapa consistiu em definir uma classe temática para cada grupo de *pixels* de acordo com o comportamento espectral destes.

Assim, optou-se pela classificação supervisionada na qual o analista possui participação direta por meio da coleta de amostras de *pixels* correspondentes a cada classe temática criada. Segundo Moreira (2011), a classificação supervisionada se resume em duas fases: treinamento e a própria classificação. Na primeira, é apresentado ao sistema um conjunto de *pixels* representativos de cada classe e uso e cobertura das terras. Na sequência, o computador efetua a classificação tomando por base as amostras fornecidas pelo usuário.

Dentro da categoria classificação supervisionada, existem ainda dois métodos distintos, ou seja, *pixel a pixel* e por regiões. No primeiro caso as informações espectrais dos pixels são analisadas de maneira isolada, embora atualmente o classificador Maxver – ICM (Máxima Verossimilhança) seja capaz de analisar a informação contextual da imagem, o que implica não somente numa classificação pelo valor do nível digital do pixel, mas também da relação deste com a classe atribuída aos pixels vizinhos.

A classificação por regiões, por outro lado, depende da entrada de uma imagem rotulada ou segmentada, em que os pixels são agrupados em regiões através da análise da informação espectral e espacial de cada *pixel*, relacionando-as com as informações dos *pixels* vizinhos. Então, durante a classificação, o usuário atribui ao sistema as amostras de polígonos da imagem segmentada para que os algoritmos possam identificar e rotular em classes os polígonos que possuem similaridade de níveis de cinza.

Diante do exposto, realizou-se uma comparação entre os resultados obtidos pelos classificadores para verificar o algoritmo mais adequado ao estudo. Para tanto, utilizou-se o Maxver–ICM (*pixel a pixel*) e o Bhattacharya (regiões), ambos com limiar de aceitação de 99%.

Para o Maxver – ICM, coletaram-se conjuntos de *pixels* representativos de cada classe temática pre-estabelecida, tomando-se o cuidado de adquirir várias amostras, considerando-se toda a variabilidade de níveis de cinza de cada classe. Enquanto para o Bhattacharya, colheram-se amostras a partir da imagem previamente segmentada.

Para a realização da amostragem dos *pixels*, o reconhecimento das classes se deu a partir da observação de elementos chaves para a fotointerpretação, tais como tamanho, forma, tonalidade, textura e associação com que os alvos são representados na imagem orbital. Desse modo, pode ser observado na tabela 5 a chave de interpretação para as classes temáticas estabelecidas, tendo em vista os elementos de reconhecimento considerados na fase de amostragem.

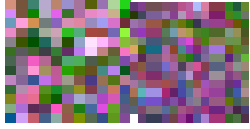
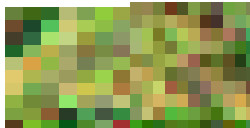
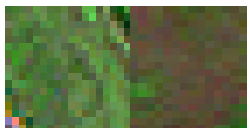

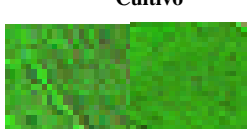

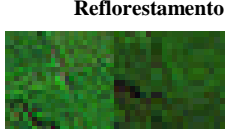

| Classes | Elementos considerados e avaliados |
|---|---|
| <p>Urbanizado</p>  <p>1989 2009</p> | <p>Textura grosseira, cor rósea e arroxeadada, forma linear e retilínea.</p> |
| <p>Pastagem</p>  <p>1989 2009</p> | <p>Textura fina, cor amarelada, forma irregular</p> |
| <p>Várzea</p>  <p>1989 2009</p> | <p>Textura fina, cor verde com tonalidade clara, associação com solos hidromórficos e proximidade com redes de drenagem.</p> |
| <p>Campo sujo</p>  <p>1989 2009</p> | <p>Textura de média rugosidade, de cor marrom-esverdeado</p> |
| <p>Cultivo</p>  <p>1989 2009</p> | <p>Textura fina, cor esverdeada com diferentes tonalidades, representando os diferentes estados de vigor da vegetação. Padrão retangular.</p> |
| <p>Solo exposto</p>  <p>1989 2009</p> | <p>Cor marrom escuro, sem presença de qualquer tipo de uso ou cobertura. Presença espalhada pelas imagens.</p> |
| <p>Reflorestamento</p>  <p>1989 2009</p> | <p>Textura rugosa, homogênea, cor verde escuro e padrões retangulares.</p> |
| <p>Mata</p>  <p>1989 2009</p> | <p>Textura rugosa, heterogênea, cor verde musgo e padrões irregulares.</p> |

Tabela 5: Chave de Interpretação para as classes temáticas de uso e cobertura das terras.

Após a geração das imagens classificadas segundo os dois métodos para a cena de 1989, puderam-se analisar de forma detalhada os resultados alcançados pelos diferentes classificadores, tais como erro médio, confusão média, além da acurácia e coerência da classificação. Logo, constatou-se que o algoritmo Bhattacharya apresentou o menor índice de confusão (0,65%) entre as classes de uso e cobertura das terras e a melhor acurácia.

O algoritmo Bhattacharya, de acordo com Moreira (2011, p.246)

“[...] usa as amostras de treinamento para estimar a função densidade de probabilidade para as classes apontadas no treinamento. Em seguida, avalia, para cada região, a distância de Bhattacharya entre as classes, conforme a equação a seguir. A classe que apresentar a menor distância será atribuída à região avaliada”.

A equação adotada pelo algoritmo Bhattacharya é a que segue.

$$B(p_i, p_j) = \frac{1}{2}(m_1 - m_2)^T \sum (m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\sum (m_i - m_j)|}{|\sum i|^{\frac{1}{2}} |\sum j|^{\frac{1}{2}}}$$

Fonte: Moreira (2011).

Diante disso, o classificador Bhattacharya foi aplicado à cena de 2009 a fim de gerar um comparativo para a imagem de 1989, estabelecendo-se análises espaciais de expansão e retração das diversas classes de uso e cobertura das terras.

4.6.6. *Elaboração dos mapas temáticos de uso e cobertura das terras*

As imagens de satélite relativas aos anos de 1989 e 2009 da bacia hidrográfica do rio Itaqueri classificadas a partir do classificador por regiões Bhattacharya, em formato matricial, foram convertidas para o formato vetorial por meio da atribuição de classes temáticas. Para isso, usou-se a função *Imagem > Mapeamento de classes para imagem temática*.

Foram gerados os seguintes temas para cada mapa: Urbanizado, Pastagem, Várzea, Campo sujo, Cultivo, Solo exposto, Reflorestamento e Mata.

Além disso, utilizou-se a fotografia aérea da região da represa do Broa para se realizar um mapeamento mais detalhado dos usos e coberturas das terras. Através da interpretação visual da foto aérea georreferenciada foram definidas e mapeadas manualmente as classes de uso da terra e cobertura vegetal usando-se a ferramenta *Editor* do ArcMap. Em decorrência da alta resolução da imagem e possibilidade de escala detalhada, o resultado do mapeamento de uso e cobertura vegetal pôde ser considerado bastante satisfatório, sendo que as feições foram desenhadas com alto nível de precisão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos a partir do mapeamento do uso e cobertura das terras da bacia hidrográfica do rio Itaqueri foram satisfatórios, considerando as limitações do sensor adotado quanto, principalmente, à resolução espacial.

O sensor TM do satélite Landsat possui uma resolução espacial aproximada de 30 metros, o que dificultou o trabalho do intérprete no que se refere, especialmente, a identificação de pequenas aglomerações urbanas e vias de acesso.

É importante reconhecer que atualmente há uma gama de sensores orbitais disponíveis. Embora muitos deles remetam a alto custo de aquisição de imagens, encontram-se hoje, principalmente através do INPE, cenas gratuitas de sensores com resoluções espaciais e espectrais relativamente eficientes no mapeamento do uso e cobertura das Terras como o sensor ETM+, CCD e HRC, com resoluções espaciais de até 15, 20 e 2,7 metros, respectivamente.

Nesta pesquisa, porém, adotou-se o sensor TM do satélite Landsat 5, em razão da maior variabilidade temporal entre as cenas, o que não foi possível encontrar nos demais sensores disponibilizados. As características técnicas daquele sensor estão resumidas na tabela 5.

Durante a pesquisa, foram empregados os métodos de classificação supervisionada por regiões e *pixel a pixel*, representadas pelos algoritmos Bhattacharya e Maxver – ICM, respectivamente. O intuito foi identificar o método de classificação e classificador mais adequados para a finalidade do trabalho, avaliando-se, portanto, a acurácia e os indicadores de erro e confusão.

Desse modo, a partir dos resultados obtidos constatou-se que a classificação por regiões mostrou-se mais adequada para esse tipo de mapeamento temático. A segmentação da

imagem permitiu estabelecer zonas mais homogêneas, com respostas espectrais similares, uma vez que se levaram em conta o valor médio dos níveis de cinza de cada região e a matriz de covariância, fazendo com que o classificador Bhattacharya apresentasse menor confusão média (0,65%) e melhor desempenho (99,35%), conforme é verificado na figura 6.

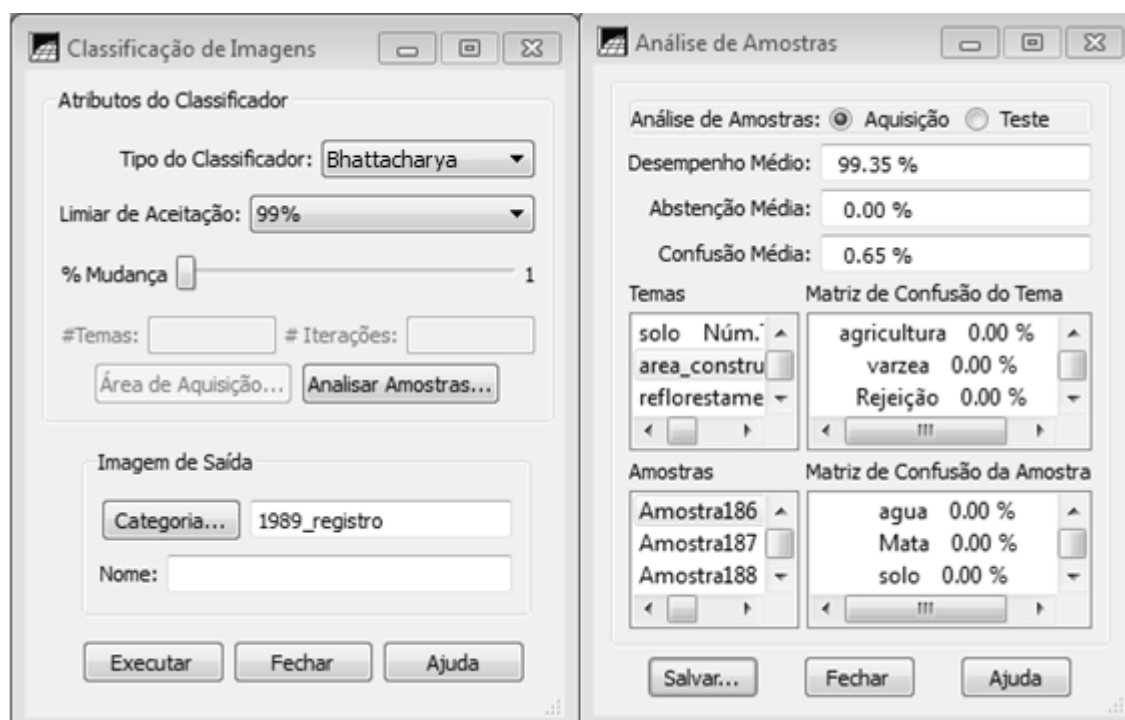


Figura 6: Desempenho médio e confusão média do classificador Bhattacharya para um limiar de aceitação de 99%.

A classificação *pixel a pixel* realizada por meio do algoritmo Maxver – ICM apresentou um desempenho inferior (88,54%) àquele alcançado pelo Bhattacharya (99,35%) e consequentemente obteve uma confusão média maior (11,46%), como pode ser observado na figura 7.



Figura 7: Desempenho médio e confusão média do classificador Maxver – ICM para um limiar de aceitação de 99%.

Ademais, com base no reconhecimento prévio do fotointerprete acerca da área estudada, pôde-se concluir que o classificador Maxver – ICM superestimou as áreas urbanas, apresentando bastante confusão destas com as áreas de solo exposto, enquanto o Bhattacharya limitou-se a classificar as áreas correspondentes à zona urbana e de expansão urbana, embora a delimitação e contorno das mesmas não tenham sido tão exatos.

Assim como as áreas urbanas, a vegetação de várzea, caracterizada por plantas de pequeno porte em solos hidromórficos, a exemplo das taboas, também foi superestimada na classificação realizada através do Maxver – ICM, confundindo-se, na maior parte das vezes, com a classe Campo Sujo e Pastagem, certamente em função das características fisiográficas serem semelhantes, o que resulta em respostas espectrais similares. O classificador Bhattacharya, por outro lado, mostrou maior precisão na delimitação dessa classe.

Há que se destacar ainda que, do ponto de vista visual, a classificação com base no classificador Maxver – ICM apresentou um mapa temático (Figura 8) mais confuso, com delimitação imprecisa das classes, o que dificulta o estabelecimento de padrões, as análises tornam-se mais complicadas e, conseqüentemente, a aplicação do mapa é mais limitada. Por outro lado, o algoritmo Bhattacharya propiciou um mapa temático (Figura 9 e 10) mais

harmônico, com classes bem definidas, facilitando as análises espaciais, tornando-se, assim, de maior aplicabilidade para o planejamento.

Vale destacar que a classificação *pixel a pixel*, assim como a por regiões, passou pela etapa de reclassificação, mas praticamente não se observou alteração quanto à saturação de *pixels* isolados intra-classes. É possível ainda melhorar os resultados da classificação *pixel a pixel* utilizando-se a técnica de limpeza de vetor, entretanto como o objetivo da pesquisa era apenas identificar e avaliar o algoritmo mais adequado para o estudo, esta etapa não foi aplicada.

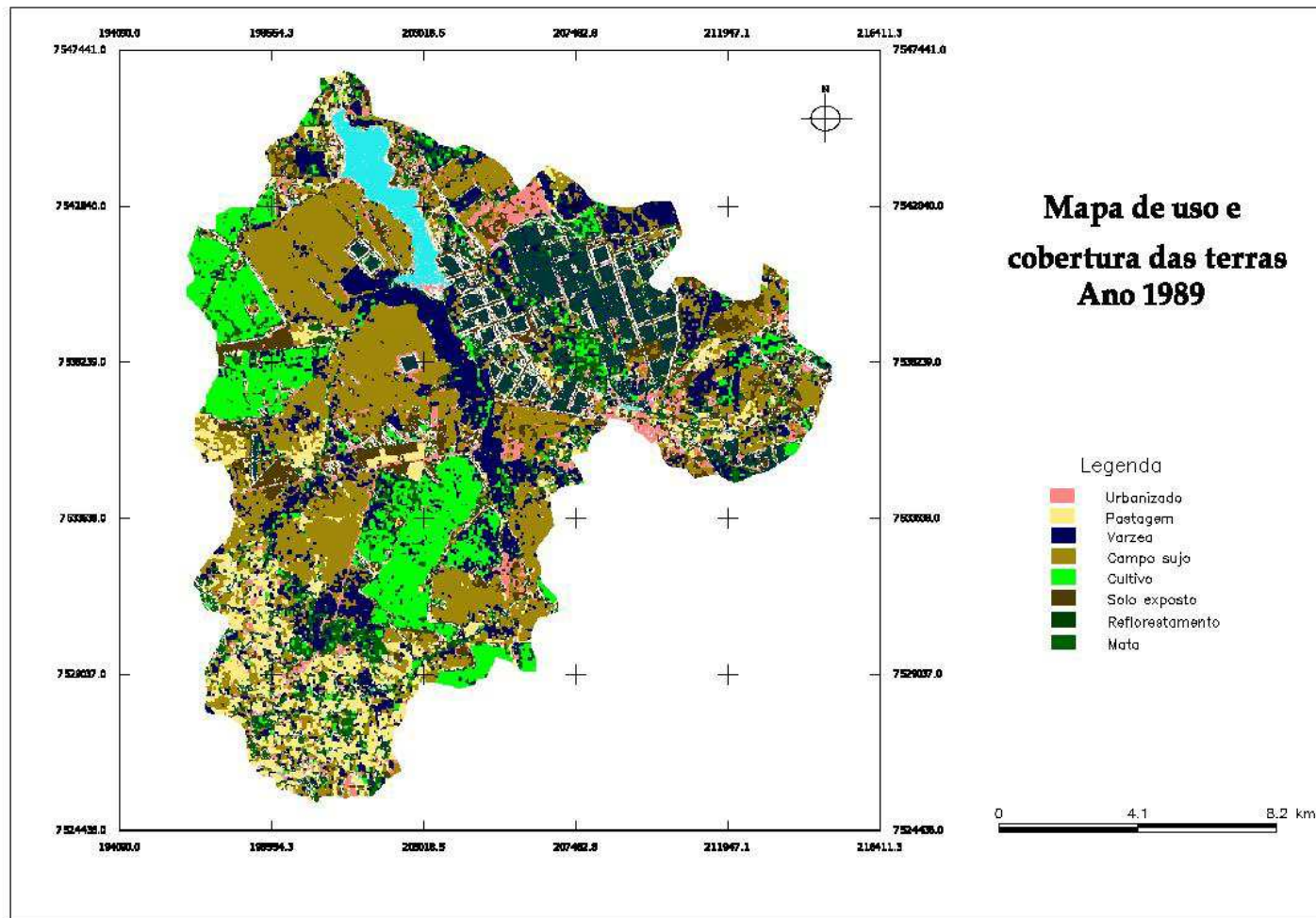


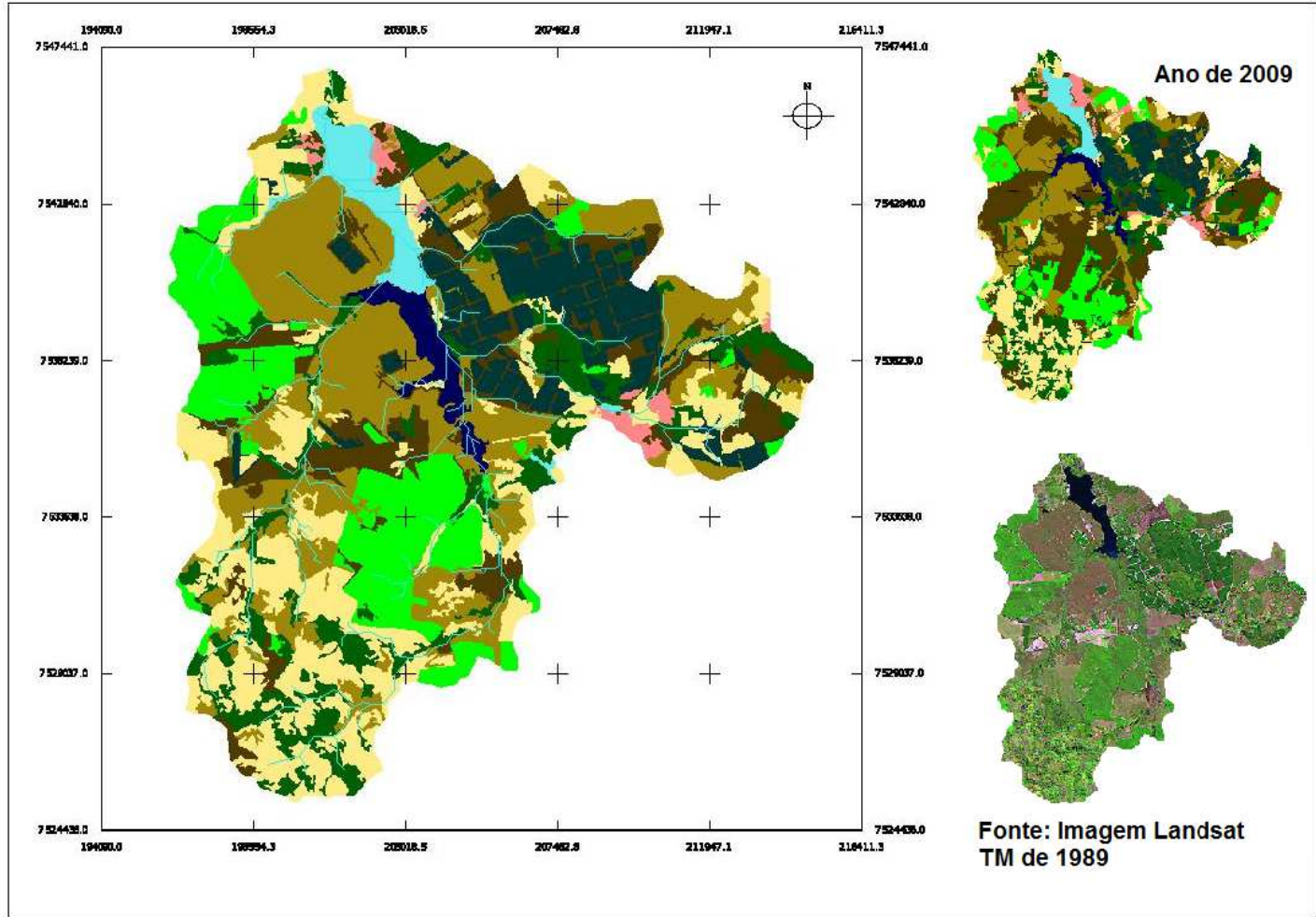
Figura 8: Mapa de Uso e Cobertura das Terras de 1989 elaborado a partir da classificação pixel a pixel pelo classificador Maxver – ICM

Mapa de uso e cobertura das terras Ano 1989

Legenda

- Urbanizado
- Pastagem
- Varzea
- Campo sujo
- Cultivo
- Solo exposto
- Reflorestamento
- Mata

0 4.1 8.2 km



Datum: SIRGAS 2000

Figura 9: Mapa de Uso e Cobertura das Terras de 1989 elaborado a partir da classificação por regiões pelo classificador Bhattacharya

Mapa de uso e cobertura das terras Ano 2009

Legenda

- Urbanizada
- Pastagem
- Varzea
- Campo sujo
- Cultivo
- Solo exposto
- Reflorestamento
- Mata

0 4.1 8.2 km

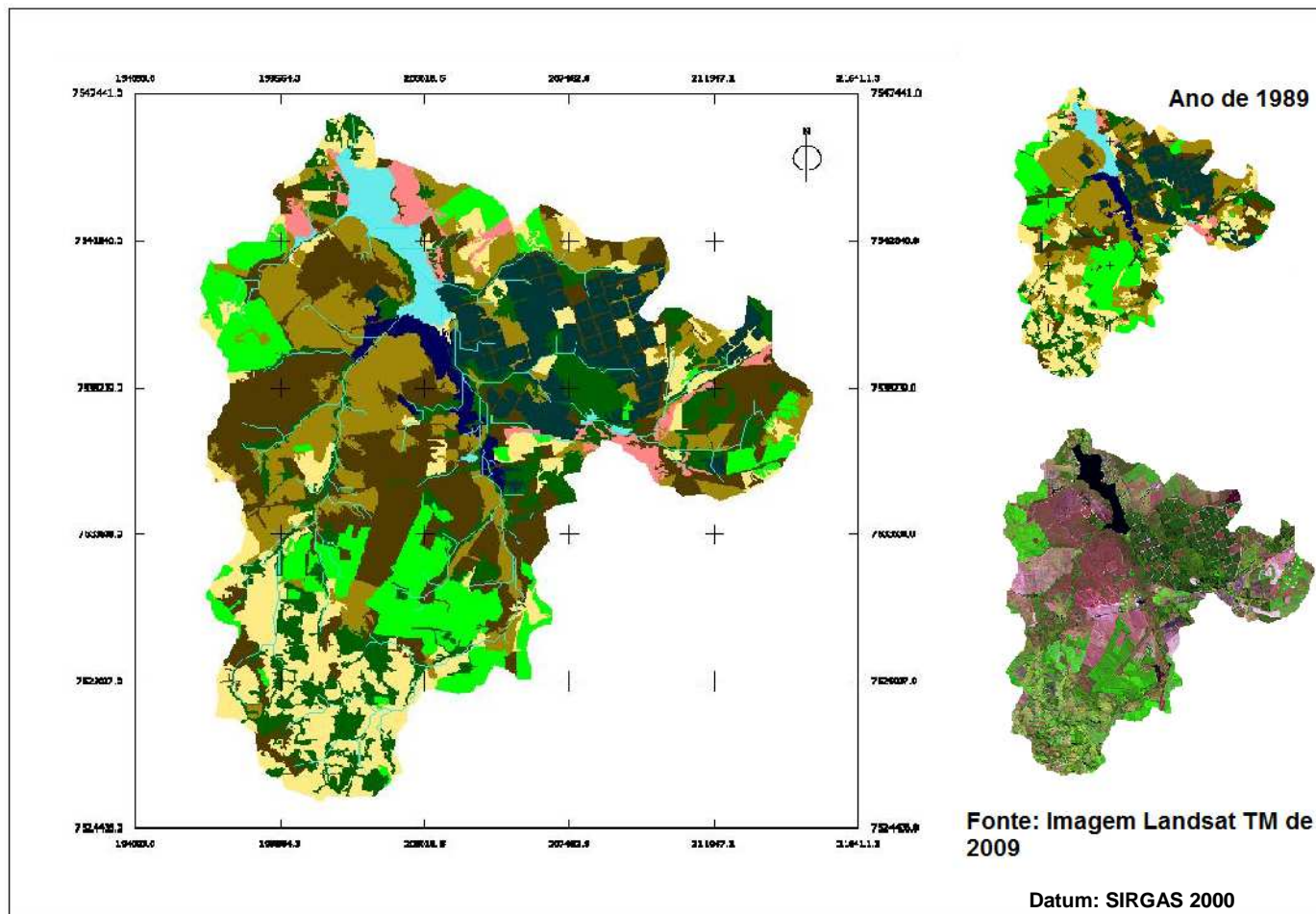
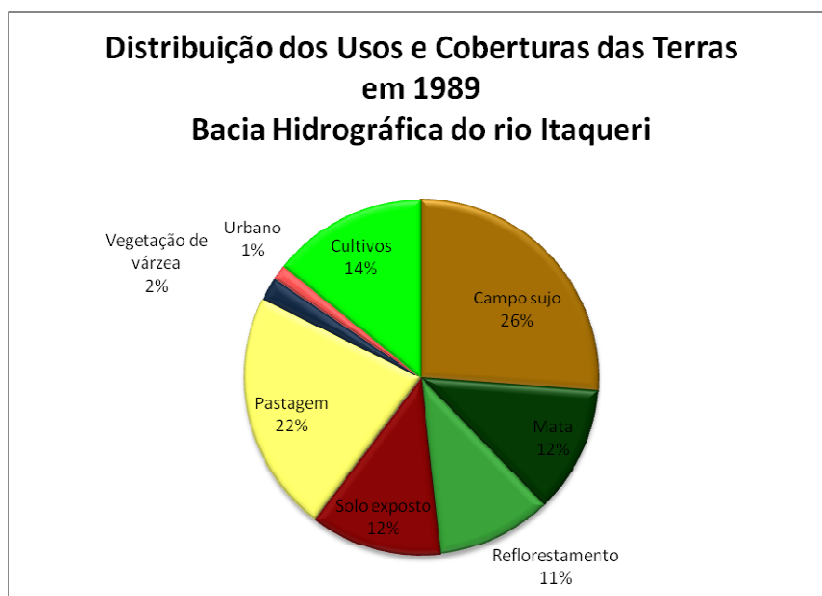


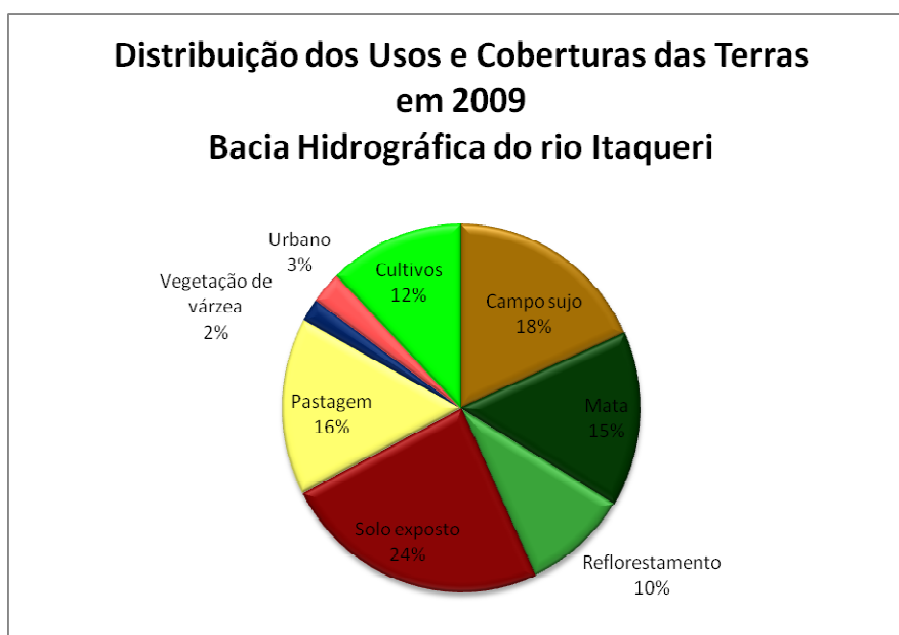
Figura 10: Mapa de Uso e Cobertura das Terras de 2009 elaborado a partir da classificação por regiões pelo classificador Bhattacharya.

Como pode ser observado nos mapas das figuras 9 e 10, entre os anos de 1989 e 2009 constatou-se um aumento significativo de áreas de solo exposto ao longo da bacia hidrográfica do rio Itaqueri. Em 1989, 12% da bacia hidrográfica era coberta por solo exposto, ao passo que em 2009 esse índice passou para 24%, fato que pode ser verificado nos setogramas 1 e 2.

Setograma 1: Usos e Coberturas das Terras na Bacia Hidrografia do rio Itaqueri – 1989 (em %).



Setograma 2: Usos e Coberturas das Terras na Bacia Hidrografia do rio Itaqueri – 2009 (em %).



O crescimento dessas áreas pode ser explicado em parte pela rotação de cultivos, visto que a bacia apresenta grandes zonas de uso agrícola sazonais como a cana de açúcar, em que os períodos de pós-colheita são caracterizados pelo manejo, correção ou pousio do solo.

Este fator acaba deixando o solo mais susceptível à erosão, tornando-se um agravante para a qualidade das águas dos rios e lagos, uma vez que é responsável por transportar grandes quantidades de sedimentos para os canais, implicando em processos de assoreamento intenso, com consequências significativas inclusive para a represa do Broa.

O caso é ainda mais preocupante se considerada a proximidade dessas áreas de solo exposto com os cursos d' água, com destaque para a margem esquerda do ribeirão do lobo e tributários do rio Itaqueri.

Verifica-se também na cena de 2009 o surgimento de uma zona de solo exposto a oeste da represa do Broa em meio ao campo sujo, no interior da Estação Ecológica de Itirapina. Em 1989, uma faixa de solo nu já era constatada, porém limitava-se somente ao redor do aeroporto. Em 2009, uma quadra de reflorestamento de *pinus* localizada no interior da Estação foi removida e o solo ficou exposto.

Entretanto, o aumento do solo exposto nesta área da Estação Ecológica estaria provavelmente ligado a um foco de queimada constatado no interior da Unidade de Conservação no mês de Julho de 2009, o que teria devastado uma grande área de campo sujo. Como a imagem Landsat TM utilizada neste estudo é datada de Agosto de 2009, é perfeitamente possível que os efeitos ocasionados por aquela queimada tenham sido detectados pelo satélite.

O evento pode ser confirmado no banco de dados de queimadas mantido pelo INPE (<http://www.inpe.br/queimadas/matTerceiros.php>) e cuja localização e características daquela queimada estão registrados no quadro 1:

Quadro 1: Foco de queimada registrado pelo INPE no interior da Estação Ecológica de Itirapina.

| CAMPO | VALOR |
|-----------------|------------------------------|
| Id | S221210047533420090709171700 |
| Lat | -22.2030 |
| Long | -47.8930 |
| LatGMS | S 22 12 10 |
| LongGMS | O 47 53 34 |
| Data-Hora | 2009-07-09 17:17:00 |
| Satélite | AQUA_M-T |
| Município | Brotas |
| Estado | SP |
| País | Brasil |
| Precipitacao | 255.9 |
| Dias sem chuva/ | 0 |
| Risco | 0 |
| Bioma | Cerrado |

Fonte: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/manage.php?ID=S221210047533420090709171700&>

A área urbana sofreu leve aumento de 1989 (1%) para 2009 (3%), representando uma diferença de 2% de um ano para outro. A justificativa está no crescimento urbano de Itirapina nas últimas duas décadas. Segundo dados do IBGE (1991 e 2010) a população urbana do município passou de 8.686 habitantes em 1990 para 14.001 habitantes em 2009.

Há que se destacar também a expansão urbana ao entorno da represa do Broa, sobretudo em razão do crescimento do turismo e lazer na região. O reservatório apresenta uma forte finalidade turística, que vem crescendo significativamente desde a década de 1970. De acordo com Tundisi; Matsumura Tundisi e Rodrigues (2003) a represa chega a receber 10 mil pessoas nos finais de semana, número que sobe para 30 mil nos feriados prolongados.

O Balneário Santo Antônio, situado na porção sudeste da represa, é o que apresentou crescimento urbano mais significativo nas últimas duas décadas. Verificou-se um aumento da densidade populacional, o padrão de ocupação dos lotes foi intenso e com redução das áreas verdes.

O crescimento urbano desordenado implica em uma série de impactos sobre o meio ambiente e também sobre a qualidade de vida das populações. Dificulta-se a infiltração natural das águas pluviais, resultado da impermeabilização do solo e redução da vegetação,

além de aumentar a erosão à medida que o solo é compactado pelo rodízio de carros nas ruas não asfaltadas (como é o caso do Balneário), transportando grande quantidade de sedimentos para o corpo d'água, processo que se torna ainda mais intenso se considerar a susceptibilidade do solo local (neossoloquartzarênico) à erosão.

Vale mencionar ainda que o acréscimo populacional próximo aos recursos hídricos, ocasionado neste caso tanto pelo crescimento urbano quanto pela ampliação do número de turistas que frequentam o local, tende a afetar a qualidade e integridade das águas pelo lançamento de efluentes não tratados, disposição irregular de resíduos e ocupação de área de preservação permanente (APP).

Com relação às áreas de cultivos, detectou-se a presença mais significativa de cana-de-açúcar. Entre 1989 e 2009 houve um decréscimo de cerca de 2% desse tipo de uso na bacia hidrográfica em questão, sobretudo em razão do preparo do solo para novos plantios, após o período de colheita.

Os problemas relacionados à cana de açúcar são múltiplos e a literatura traz trabalhos que já exploraram o tema, como Balsan (2006), Alvarenga e Queiroz (2008) e Andrade e Diniz (2007). Dentre as degradações ambientais provocadas pela monocultura de cana de açúcar, elencam-se: desmatamento, perda da biodiversidade, compactação do solo e erosão, poluição atmosférica, incêndios que colocam em risco a fauna e a flora, consumo de grandes volumes de água e óleo diesel e contaminação do solo.

Em especial, os recursos hídricos são afetados por processos de assoreamentos, provenientes da erosão acelerada nas áreas de cultivo pelo uso incompatível do solo, em que se desconsidera a aptidão agrícola e fragilidade ambiental dos mesmos. Ademais, a cana de açúcar é fonte significativa de contaminação das águas superficiais e subterrâneas pelo uso intensivo de fertilizantes, herbicidas e defensivos agrícolas. Esses problemas são na maior parte dos casos agravados pela proximidade das áreas de cultivo aos cursos d'água, descumprindo os limites mínimos de APP (Áreas de Preservação Permanente), como é o caso da área de estudo. Constatou-se que a maioria das áreas de cultivo estão situadas próximas aos tributários do ribeirão do Lobo e rio Itaqueri, bem como ao longo dos afluentes diretos da represa do Broa.

Também ocorreu diminuição das áreas destinadas às pastagens entre os anos analisados. Em 1989, assim como em 2009, as pastagens estavam concentradas predominantemente na porção sul da bacia hidrográfica, região de maior altitude e próximos as cabeceiras do rio Itaqueri e ribeirão do Lobo. Em alguns locais, estas áreas foram

substituídas por cultivos e solo exposto, o que implicou numa redução de 22% em 1989 para 16% em 2009.

A classe temática correspondente a cobertura das terras por matas sofreu modesto aumento de 1989 (12%) para 2009 (15%). No entanto, vale mencionar que o classificador Bhattacharya, durante a classificação da cena correspondente ao ano de 2009, apresentou certo índice de confusão entre as classes Matas e Cultivo, em função das respostas espectrais de ambas serem similares. Desse modo, houve uma tendência em classificar as áreas de maior vigor vegetativo como sendo pertinentes à classe Matas. Isso ocorreu excepcionalmente nas extremidades da área agrícola situada na porção sul da bacia, onde alguns fragmentos de cana com maior vigor vegetativo foram considerados como pertencentes à classe Matas.

Considerando o acima exposto, pode-se concluir que o crescimento da vegetação nativa na área de estudo foi menor do que aparentemente se revelou. É fato, porém, que houve aumento da vegetação no extremo norte da bacia hidrográfica, região próxima a foz do ribeirão do Lobo.

Ao longo dos canais fluviais a presença da vegetação se mostrou rarefeita e em vários pontos inexistente, colocando em risco a integridade da bacia hidrográfica no que se refere a qualidade e quantidade das águas, uma vez que as matas galerias são essenciais para estabilizar o solo, evitando erosão das margens e assoreamento dos cursos d'água, assim como é responsável por manter a vazão mínima dos rios.

No que se refere à cobertura do solo por reflorestamento e vegetação de várzea, percebe-se que praticamente não houve alteração entre os anos de 1989 e 2009, tanto no aspecto quantitativo quanto na sua distribuição espacial.

Utilizando-se a fotografia aérea do entorno da represa do Broa de 2009, com resolução espacial aproximada de 1 metro, realizou-se a delimitação manual dos usos e cobertura das terras do entorno do reservatório, dessa vez de forma mais detalhada, permitindo, por exemplo, identificar padrões de construção que se caracterizam como uso turístico, como por exemplo a praia e as casas de veraneio, o que não foi possível nas imagens orbitais em razão de sua menor resolução espacial de 30 metros.

As imagens orbitais de média resolução espacial permitem análises mais abrangentes dos padrões de uso da terra e cobertura vegetal, recursos essenciais para pesquisas regionais. No entanto, as fotografias aéreas e imagens de alta resolução favorecem o mapeamento de fenômenos em escalas detalhadas, como é o caso de usos turísticos.

Assim, foi possível distinguir 17 classes temáticas: área construída, casas de veraneio, loteamentos, rodovia, estradas, pista de pouso, cana de açúcar, citrus, reflorestamento, orla (prainha), área desmatada, solo exposto, várzea, campo sujo, pastagem, vegetação e lago, conforme se verifica na figura 11.

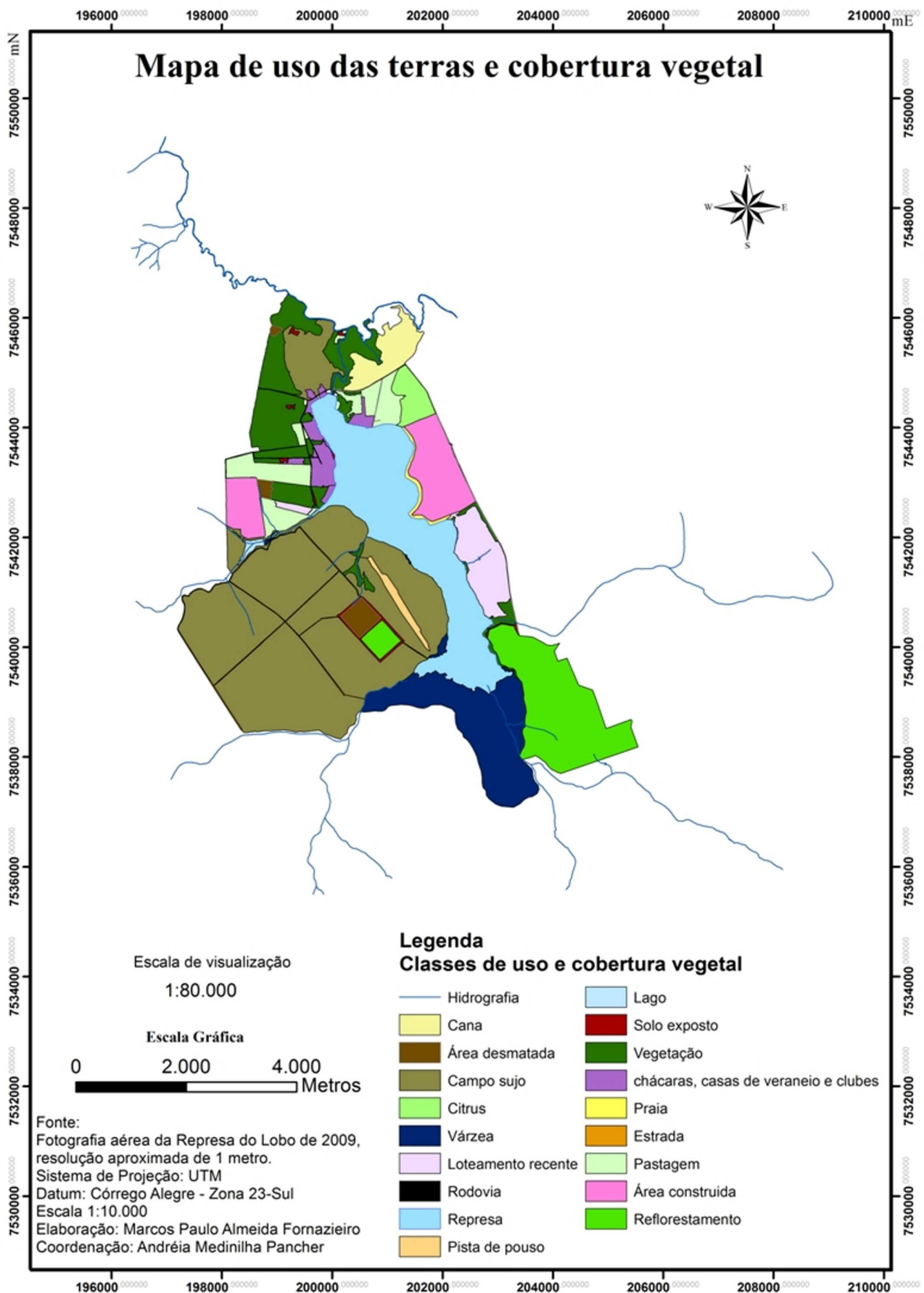


Figura 11: Mapa de Uso e Cobertura das Terras do entorno da represa do Broa – Fotografia Aérea/2009.

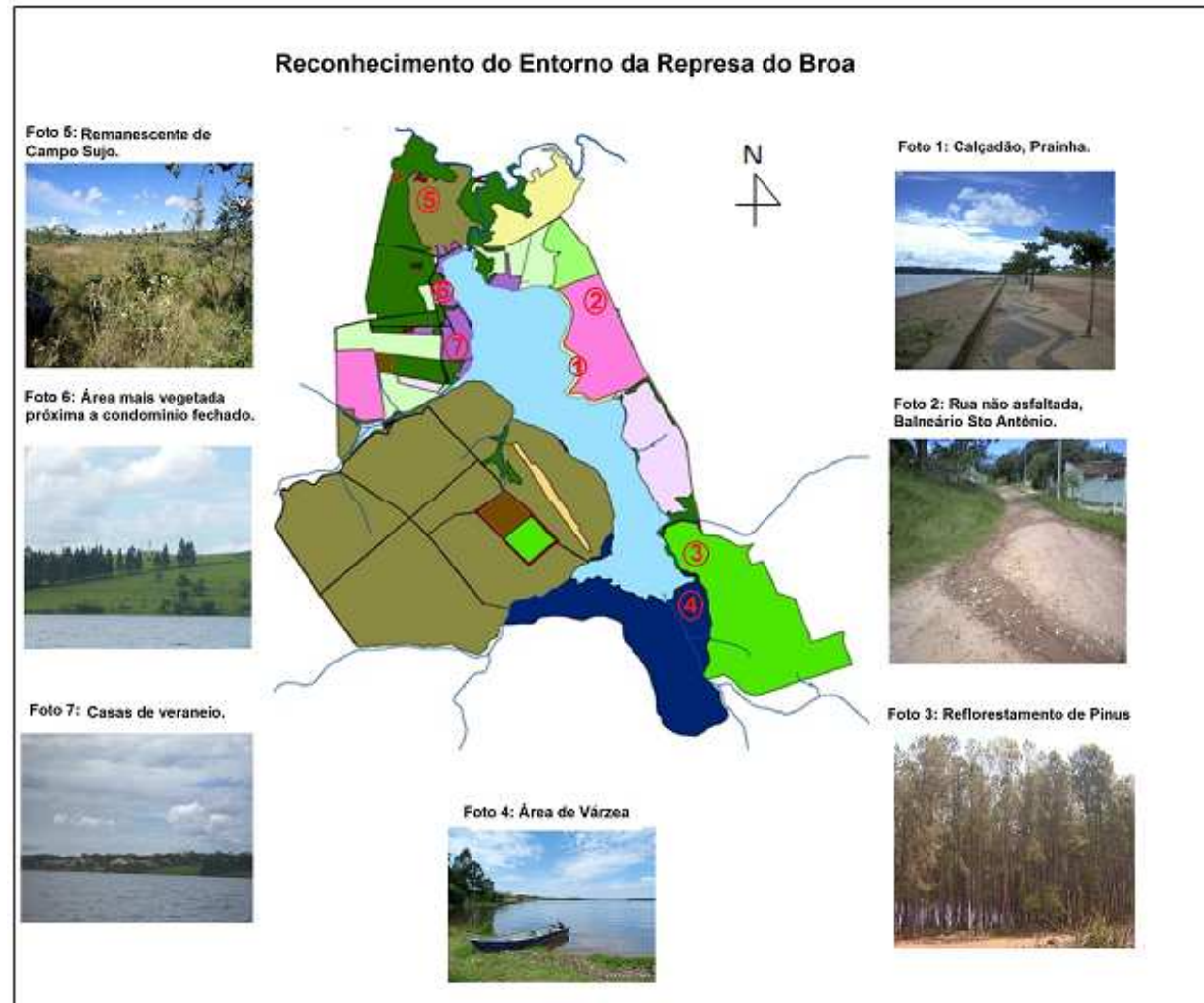


Figura 12: Reconhecimento *in loco* dos usos e coberturas do entorno da represa do Broa.

De modo geral, o mapa de uso e cobertura das terras da bacia hidrográfica do ano de 2009 é condizente com aquele do entorno da represa (Figura 11), correspondente ao mesmo ano, com a diferença de que neste último é possível identificar uma maior quantidade de classes temáticas em função da sua maior resolução espacial.

É prudente mencionar que a mancha de solo exposto presente no interior da Estação Ecológica de Itirapina no mapa da figura 10, que corresponde ao uso e cobertura das terras da bacia hidrográfica do ano de 2009, não aparece neste mapa da Figura 11 relativo ao uso da terra e cobertura vegetal da represa do Broa, uma vez que a imagem aérea é referente ao mês de Maio de 2009, isto é, anterior ao incêndio que ocorreu na unidade de conservação em Julho de 2009.

A classe temática Cultivo, assim definida nas imagens orbitais, foi separada em Cana de Açúcar e Citrus na imagem aérea, já que foi possível distinguir o padrão de ocupação em curvas de nível que caracteriza as plantações de citrus, em oposição aos padrões geométricos das plantações de cana de açúcar.

O mesmo foi feito para a classe Urbanizado, a qual foi dividida em Área construída, Casas de veraneio e Loteamento. A área construída corresponde àquela situada mais ao nordeste da represa, onde se observa uma maior densidade de ocupação, associada a equipamentos turísticos e à prainha, diferentemente do que se verifica na porção noroeste da represa, onde há, basicamente, casas de veraneio, chácaras, clubes e infraestruturas turísticas. Por fim, o loteamento está localizado ao sudeste, caracterizando uma área de expansão urbana, com edificações recém-construídas ou em construção.

Na região sul da represa, verificou-se uma área considerável de várzea, na qual o solo encontra-se bastante saturado de água, tendendo a formar gleissolo. A vegetação é basicamente de taboas, uma vez que esse tipo de ambiente impede a formação de arbustos e árvores densas. São locais bastante propícios à inundação e que dificultam a trafegabilidade.

A vegetação e as matas foram encontradas predominantemente ao norte da represa e ao longo do ribeirão do Lobo, sendo que a maior parte delas apresenta-se “recortada” por estradas não pavimentadas, prejudicando o bioma e fauna local. A construção de estradas e rodovias é inevitável para o desenvolvimento turístico de uma região, no entanto, é preciso atentar para as suas ameaças ao ambiente natural, procurando construí-las em áreas menos sensíveis.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da evolução dos usos das terras e da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Itaqueri permitiu compreender a dinâmica de apropriação do espaço pelo homem e assim perceber a essencialidade de se prezar pelo uso adequado das terras em conjunto com ações de gestão e planejamento, a fim de conservar a qualidade ambiental e a integridade os recursos hídricos.

Para tanto, as imagens orbitais se revelaram importantes fontes de dados para o mapeamento do uso e cobertura das terras, e com o auxílio das técnicas de Geoprocessamento foi possível melhorar os aspectos qualitativos destas imagens, corrigindo-as e enfatizando informações mais pertinentes para a pesquisa. O Sistema de Informação Geográfica (SIG), por sua vez, foi uma importante ferramenta para a realização das análises espaciais, etapa em que a participação e avaliação do pesquisador é indispensável para evitar equívocos do *software* e incoerência com a realidade.

Com base nos resultados alcançados, a classificação supervisionada apresentou melhor desempenho de acordo com o propósito da pesquisa quando comparada à classificação *pixel a pixel*, assim como o algoritmo Bhattacharya, o qual mostrou menor confusão entre as classes temáticas e menor erro médio em relação ao Maxver – ICM.

Constatou-se que a bacia hidrográfica do rio Itaqueri sofreu grandes alterações paisagísticas ao longo dos 20 anos analisados, sobretudo no que se refere à redução da vegetação de cerrado, representada pelo campo sujo, aumento expressivo das áreas de solo exposto e crescimento significativo das áreas urbanas, principalmente no entorno da represa do Broa. O reservatório que, aliás, vem apresentando expressivo fins turísticos, conforme foi possível observar na fotografia aérea, o que tem implicado no aumento de construções próximas à represa. No entanto, muitas vezes, essa ocupação é realizada sem qualquer planejamento, contribuindo para o adensamento populacional, redução das áreas verdes e o surgimento de grandes problemas ambientais e sociais, como é o caso do Balneário Santo Antônio.

Por fim, este trabalho elaborou produtos cartográficos de grande utilidade para o poder público e também para a sociedade residente na região, visto que os mapas de uso e cobertura das terras oferecem um diagnóstico da área de estudo, permitindo identificar usos incompatíveis com a capacidade de uso das terras e suas interferências nos recursos

ambientais, além de subsidiar tomadas de decisões no âmbito do planejamento regional e gestão ambiental.

7. RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados aqui apresentados, recomenda-se que a administração pública, neste caso representada pelos Comitês e Agências de Bacias Hidrográficas, canalize esforços para conciliar a conservação da qualidade dos recursos hídricos com uso das terras, garantindo o uso múltiplo das águas e ao mesmo tempo desenvolvendo políticas de fiscalização de empreendimentos e atividades poluidoras em desrespeito com as leis ambientais, além de disciplinar o uso das terras e incentivar a preservação da vegetação nativa, principalmente das matas galerias, as quais são imprescindíveis para a conservação da qualidade dos recursos hídricos e estabilização das margens, evitando processos de erosão e assoreamento.

Quanto à região estudada, sugere-se que as áreas de cultivo de cana de açúcar sejam monitoradas com frequência para evitar danos mais graves ao solo e às águas, fazendo cumprir a existência da APP ao longo dos cursos d'água. O ideal seria que este cultivo se limitasse às áreas de menor declividade e mais distante dos corpos de água. O manuseio do solo deve priorizar a construção de obstáculos transversais ao declive do terreno para diminuir o escoamento superficial, investir em adubação orgânica e quando possível reduzir o uso de agrotóxicos.

Deve-se atentar também para o crescimento do turismo na região da represa do Broa, que tem impulsionado um novo ritmo de ocupação do solo, com adensamento populacional no Balneário Santo Antônio. Nesse aspecto, é necessário a discussão de medidas que visem o desenvolvimento turístico da região em concomitância com a conservação da qualidade ambiental e de vida da população, investindo na construção de equipamentos turísticos, construção de infraestruturas sanitárias, arborização, planejamento dos loteamentos e construções e implementação de políticas de conscientização dos moradores e turistas para a importância da conservação ambiental, bem como o desenvolvimento de programas de educação ambiental junto às escolas.

REFERENCIAS

- ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI, F. NETO; SRINIVASAN, V. S. Efeitos do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um luvisolo em Sumé (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 25, n. 1, 2001, p. 121-128.
- ALVARENGA, R. P.; QUEIROZ, T. R. Caracterização dos aspectos e impactos econômicos, sociais e ambientais do setor sucroalcooleiro paulista. In: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 46., 2008. **Anais...** Brasília, DF: Sober, 2008.
- ALVES, H. P. F. **Análise dos fatores associados às mudanças na cobertura da terra no Vale do Ribeira através da integração de dados censitários e de sensoriamento remoto**. Campinas: Núcleo de Estudos de População/UNICAMP, 2004. 127p.
- ANDRADE, J. M. F.; DINIZ, K. M. **Impactos ambientais da agroindústria da cana de açúcar: subsídios para a gestão**. Monografia (Especialização em Gerenciamento Ambiental). Universidade de São Paulo, PIRACICABA, 2007. 131f.
- BALSAN, R. Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira. **Revista de Geografia Agrária Campo e Território**, v. 1, n. 2, 2006, p. 123-151.
- BATISTA, J. L. O.; SILVA, A. B.; SANTOS, R. L. Procedimentos metodológicos para o mapeamento da cobertura e uso do solo na carta SC-24-Z-I-3, utilizando geotecnologia. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3., 2010, Recife. **Anais...** Recife, 2010, p. 001-009
- BORTOLUZZI, E.C. et al. Contaminação de águas superficiais por agrotóxicos em função do uso do solo numa microbacia hidrográfica de Agudo, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 881-887, p. 2006.
- BRASIL. **Lei Nº 9433** de 09 de Janeiro de 1997- Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, UF: Congresso Nacional, 1997.
- BRASIL. **Lei Nº 9984** de 17 de Julho de 200 - Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, UF: Congresso Nacional, 2000.
- BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 357** de 17 de Março de 2005 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, UF: Congresso Nacional, 2005.
- CAETANO-CHANG, M. R. **A Formação Pirambóia no centro leste do Estado de São Paulo**. 1997. 196f. Tese de Livre Docência (Departamento de Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 1997.

CÂMARA, C.; DAVIS, C. (1996). **Fundamentos de Geoprocessamento**. Livro online. Disponível em: <www.dpi.inpe.br> Acesso em: 02 de Maio de 2012.

COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**: Textos, Mapas e SISG. Brasília: CPRM, 2003.

DILL, P. R. J. **Assoreamento do reservatório do Vacacaí-Mirim e sua relação com a deterioração da bacia hidrográfica contribuinte**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2002. 125f.

DONADIO, N. M.M.; GALBIATTI, J.A.; PAULA, R.C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 115-125, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, Embrapa, 2009, 412p.

IBGE. Censo demográfico 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>

IBGE. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Primeira Divisão de Geociências do Nordeste, Rio de Janeiro: IBGE, 2001.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FORNAZIEIRO, M.P.A. **Geotecnologias para o estudo de fragilidade ambiental no entorno da represa do Lobo, Itirapina/SP com vistas ao (eco)turismo**. Relatório de Iniciação Científica. FAPESP. 2012. 108f.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 1981.

LEPSCH, I. F. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175p.

MENESES, P. R.; Almeida, T. (org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: IG/UnB, 2012.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011. 422p.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007, p. 2899-2906.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2008. 358p.

OLIVEIRA, J. C. **Índice para avaliação de segmentação (IAVAS): uma aplicação em agricultura**. 2002. 160 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2002.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia, 1990. 136p

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 16, p. 81-90, 2005.

SILVA, A. M.; ALVARES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. **Revista Geociência**, São Paulo, UNESP, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005,

SILVA, A. M. **Processamento digital de imagens de satélite**. Centro de Eventos da PUCRS, 2001. Porto Alegre: PUCRS, 2001. Livro online. Disponível em www.cartografia.org.br. Acesso em: 26/03/2013.

SOARES, A. K. et al. Análise do balanço hídrico serial na bacia da represa do Broa, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: ABRH, 2003.

SOBRINHO T. A. et al. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1. Jaboticabal. 2010.

SOUSA, R. F.; BARBOSA, M. P.; SILVA, M. J. Utilização de imagens CBERS no estudo da degradação das terras da fazenda Sítio Agreste – município de Itaporanga-PB. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, p. 1181-1188, 2007.

SPRING. **Apostila Processamento Digital de Imagens**. Rio Claro: UNESP, 2011.

TEIXEIRA, A. L. A.; CERDAN, N. A. G. **Geo-Inf + Map: aplicación de la tecnología SIG al desarrollo de las regiones de tamaño medio**. 1990.

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de águas em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 1, p. 181-186, 2002.

TUCCI, C. E.M.; CLARKE, R.T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, 1997, p. 135-152.

TUCCI, C.M.E. Urbanização e recursos hídricos. In: BICUDO, C.E de M.; TUNDISI, J.G. SHEUENSTUSHL, M.C.B. (Org.). **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010, 224p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T.; RODRIGUES, S. L. **Gerenciamento e recuperação das bacias hidrográficas dos rios Itaqueri e do Horto/Itaqueri e da UHE Carlos Botelho**. Instituto Internacional de Ecologia, 2003. 72p.

TUNDISI, J.G.; MATSUMARA TUNDISI, T. **Recursos hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

VALENTE, C.R. Impacto do desmatamento do Cerrado nos recursos hídricos superficiais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XV, 2001. **Anais...** Curitiba: INPE, 2001, p. 2804-2811.

VICENTE, L. E.; SOUZA FILHO, C. R.; PEREZ FILHO, A. Elaboração de modelos digitais de elevação para estudos geomorfológicos através de sensores orbitais: validação de dados altimétricos ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6. - Regional Conference On Geomorfology, I, 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2006. v 2.