

**USO DE SIG NA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE
PRESERVAÇÃO PERMANENTE E NO MAPEAMENTO
DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA DO
RIBEIRÃO PIRAÍ - SP.**

VANESSA AMADI BARROS RAUEN

Orientador: Fernando Soares Pinto Sant'Anna

Co-orientador: Francisco José de Toledo Piza

2010/2



VANESSA AMADI BARROS RAUEN

USO DE SIG NA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE E NO MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO
SOLO NA BACIA DO RIBEIRÃO PIRAÍ - SP.

Trabalho apresentado à Universidade Federal
de Santa Catarina para Conclusão do Curso
de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental.

Orientador: Fernando S. P. Sant'Anna
Co-orientador: Francisco José de Toledo Piza

Florianópolis, SC
Março de 2011
Vanessa Amadi Barros Rauen

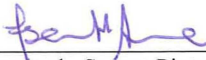
Vanessa Amadi Barros Rauen

**USO DE SIG NA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE
PRESERVAÇÃO PERMANENTE E NO MAPEAMENTO DO
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA DO RIBEIRÃO PIRAÍ
- SP.**

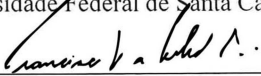
Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

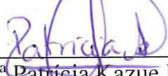
Florianópolis, 28 de fevereiro de 2011.

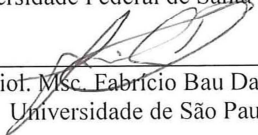
Banca Examinadora:


Prof. Dr. Fernando Soares Pinto Sant'Anna
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina


Engº Francisco José de Toledo Piza
Co-Orientador


Engª Patricia Kazue Uda
Universidade Federal de Santa Catarina


Biol. Msc. Fabrício Bau Dalmas
Universidade de São Paulo

AGRADECIMENTOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, não foram essenciais apenas estes últimos meses, foi um resultado da colaboração de todos que estiveram ao meu lado durante o período da faculdade, sem eles tudo seria mais difícil.

A Deus em primeiro lugar, por sempre estar junto a mim.

À minha mãe, Déborah, meus avós Edgar e Antonietta e o restante da família por sempre me apoiar e fazer-me acreditar que tudo um dia valeria à pena.

À minha Tia Pi, que apesar de não estar mais aqui presente, seu exemplo sempre me deu forças para continuar.

Ao Sidney Schaberle Goveia, auxílio e companhia essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professores Dr. Alexandre Rosa, Alexandre Ciufa e Marcos C. Hott, que me auxiliaram prontamente para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os meus amigos, pelo apoio e amizade, mas em especial ao Felipe Gautério Leal, essencial na minha formação como engenheira e pessoa.

Resumo

RAUEN, V. A. B. Uso de SIG na delimitação de áreas de preservação permanente e no mapeamento do uso e ocupação do solo na Bacia do Ribeirão Pirai - SP. Florianópolis, 2010, 71p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

O SIG é um sistema informatizado que visa à coleta, tratamento, armazenamento e análise de informações com localização espacial definida por um sistema de coordenadas. Na área ambiental o uso de SIG é muito utilizado como auxiliar no planejamento territorial e no suporte a decisão, permitindo uma rápida análise da informação, reduzindo custos econômicos e de tempo. A importância das Áreas de Preservação Permanentes se encontra na função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, estabilidade geológica e a biodiversidade. Considerando sua singularidade, são caracterizadas pela intocabilidade e vedação de uso econômico direto. Na delimitação de Áreas de Preservação Permanentes, o SIG permite eliminar subjetividades e possíveis erros decorrentes do processo de inferência manual. Desta forma, este trabalho tem como finalidade aplicar as metodologias de delimitação automática dessas áreas e confrontá-las com o uso e ocupação do solo atual, na bacia hidrográfica do Ribeirão Pirai, pertencente a UGRHI – 5, no estado de São Paulo. Neste trabalho, foram delimitadas as seguintes categorias de APPs: nascentes, cursos d'água, lagos e reservatórios, topos de morro e linhas de cumeada. O mapa do uso e ocupação do solo foi gerado através de uma classificação supervisionada de imagens do satélite Landsat 5, do ano de 2010 e foram definidas as seguintes classes: floresta, campo, solo exposto, solo exposto vermelho e áreas de queimada, através dos métodos ISODATA e máxima verossimilhança. A partir dessas análises pode-se concluir que a Bacia do Ribeirão Pirai encontra-se bastante alterada, com predominância de áreas de agricultura e de campos antrópicos, possuindo apenas 30,3% de áreas preservadas, sendo a maior parte localizada na área das nascentes do Pirai, na Serra do Japi.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de Informações Geográficas, Áreas de Preservação Permanente, Uso e Ocupação do Solo, Bacia do Ribeirão Pirai - SP.

Abstract

RAUEN, V. A. B **GIS Applicability on Land Use Mapping and Delineation of Permanent Areas of Preservation (APPs) in the *Ribeirão do Piraí* Watershed.** Florianópolis, 2010, 71p. Work of conclusion's course – Federal University of Santa Catarina, Florianópolis.

A Geographic Information System (GIS) is a digital database that collects, handles, stores, and analyzes georeferenced information defined by a coordinate system. Within the field of environmental science, GIS is widely used in territory planning because it can quickly provides accurate data which reduces costs and time associated with planning and the decision making process. Environmentally, Permanent Preservation Areas (APPs) play a crucial role in the preservation of hydrologic resources, landscape, maintenance of geologic stability, and the protection of biodiversity – that is why these are untouchable areas in which direct economic activities are forbidden.

The use of applications in a environment GIS diminishes subjective assessments while potential errors, resulting from manual inferences, are minimized. The aim of this work is to apply GIS tools for the delineation of the APPs and compare them with the current land use in *Ribeirão do Piraí* Watershed located in the state of Sao Paulo. In this work the following APPs areas were delineated: sources (headwaters), streams and creek paths, lakes, hilltops, and ridges. A land use map was produced through the supervised classification of satellite images (Landsat 5) of 2010 which, based on the ISODATA and maximum likelihood methods, defines the following categories: forest, meadow, exposed soil, red exposed soil and burnt areas.

From the analysis of the resulting layers, one can conclude that the *Ribeirão do Piraí* Watershed has been significantly altered and that agriculture and anthropic meadows is the predominant land use. Only 30,3% are preserved of which the majority is located in the *Piraí* source at the *Japi* ridge.

Keywords: Geographic Information System, Permanent Areas of Preservation (APPs), land use, *Ribeirão do Piraí* Watershed.

Lista de Figuras

Figura 1 – Esquema das causas e soluções relacionadas às enchentes urbanas.	22
Figura 2 - Atlas de inundações e pavimentações no estado de São Paulo, de 1988 a 2000.....	23
Figura 3 – Exemplo de área de risco	24
Figura 4. Localização da Bacia do Pirai, no Brasil e Estado de São Paulo. 28	
Figura 5 – A Bacia do Ribeirão Pirai e os municípios abrangidos.....	29
Figura 6 – Regiões Hidrográficas e Sub-bacias	30
Figura 7. Títulos minerários e geologia da Bacia do Pirai.	32
Figura 8. A APA Cabreúva e a Bacia do Ribeirão Pirai	34
Figura 9. Articulação das cartas utilizadas no trabalho.....	35
Figura 10. Esquema ilustrativo da aplicação do terço superior em áreas elevações.....	40
Figura 11 - O processo de refinamento do MDEHC.....	42
Figura 12. Representação da metodologia de Hott . (2004).....	42
Figura 13. Linhas de cumeada.	43
Figura 14. Metodologia para delimitação de APPs em topo de morros (Hott , 2004) e em linhas de cumeada (adaptado de Hott , 2004).....	44
Figura 15. Mapa de Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água da Bacia do Ribeirão Pirai.	49
Figura 16. Áreas de Preservação Permanente de nascentes da Bacia do Ribeirão Pirai	50
Figura 17. Áreas de preservação permanente ao longo de lagos e reservatórios na Bacia do Ribeirão Pirai.....	51
Figura 18. APPs de Topo de Morro da Bacia do Ribeirão Pirai.	52
Figura 19. APPs de Linha de Cumeada na Bacia do Ribeirão Pirai.....	53
Figura 20. Visualização 3D dos polígonos de APPs de Topo de Morro.	54
Figura 21. Áreas de Preservação Permanente da Bacia do Ribeirão Pirai. .	55
Figura 22. Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Ribeirão Pirai.....	57
Figura 23. Histograma de distribuição dos pixels.	59
Figura 24. Índice de Vegetação da Bacia do Ribeirão Pirai.....	59
Figura 25. Índice de Vegetação e APPs.....	60
Figura 26. APPs totais e Uso do Solo na Bacia do Ribeirão Pirai.	61

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Normas associadas às suas funções	18
Tabela 2 – Área por município – Bacia do Ribeirão Pirai	30
Tabela 3 – Dados populacionais	31
Tabela 4. Materiais utilizados.	36
Tabela 5. Áreas de Treinamento da Classificação Supervisionada.	46
Tabela 6. Índice Kappa e a respectiva qualidade de classificação.	47
Tabela 7. Áreas de APPs de lagos e reservatórios.	50
Tabela 8. Composição das APPs da Bacia do Ribeirão Pirai.....	55
Tabela 9. Resultado da Classificação Supervisionada	58
Tabela 10. Resultado do Índice de Vegetação	59
Tabela 11. APPs x Vegetação.	60
Tabela 12. O Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Ribeirão Pirai.....	62

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

APP – Área de Preservação Permanente
APRM - Área de Proteção e Recuperação de Mananciais
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DN – Digital number
DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral
ERDAS – Earth Resource Data Analysis System
ESRI – Environmental Systems Research Institute
GIS – Geographic Information System
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IBGE – Instituto Brasileiro d Geografia e Estatística
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISODATA – *Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques*
IVP – Infravermelho próximo
MaxVer – Máxima Verossimilhança
NASA – Agência Espacial Norte Americana
PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica
QUAC – *Quick Atmospheric Correction*
SAEE – Serviço Autônomo de Água e Esgotos
SAVI – *Soil Adjusted Vegetation Index*
SIG – Sistema de Informações Geográficas
SRTM – *Space-Shuttle Radar Topographic Mission*
TM – *Thematic Mapper*
UGRHi – Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos
USGS – *United States Geological Survey*
UTM – Universal Transversa de Mercator (projeção)
V – Vermelho

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. JUSTIFICATIVA.....	14
3. OBJETIVOS.....	15
3.1. OBJETIVO GERAL	15
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
4.1. ASPECTOS LEGAIS	16
4.1.1 A nova Lei dos Mananciais do Estado de São Paulo.	18
4.1.2. Resolução CONAMA N° 303/2002.....	19
4.2. IMPORTÂNCIA DAS APPs	20
4.2.1. Importância Física.....	21
4.2.2. Importância ecológica	21
4.3. IMPACTOS CAUSADOS PELA OCUPAÇÃO DE APPS	22
4.3.1. APPs e áreas de risco	23
4.3.2. Medidas Preventivas	24
4.4. PLANEJAMENTO E GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS..	25
4.4.1. Sensoriamento Remoto	25
4.4.2. Sistemas de Informações Geográficas (SIG).....	26
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
5.1. LOCALIZAÇÃO.....	27
5.2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	29
5.5.1. Caracterização da Bacia do Ribeirão Pirai.....	29
5.5.2. Regiões e Sub-regiões Hidrográficas	30
5.5.3. Distribuição Populacional	30
5.5.4.Caracterização Geológica da área	31
5.5.5. Barragem do Pirai	32

5.5.6. A APA Cabreúva	33
5.3. MATERIAL	34
5.4. MÉTODOS.....	36
5.4.1. Padronização dos dados digitais.....	36
5.4.2. Edição dos mapas.....	36
5.4.2.1. Delimitação das Áreas de Preservação Permanente ao longo dos cursos d'água	37
5.4.2.2. Delimitação das Áreas de Preservação Permanente ao redor de nascentes	38
5.4.2.3. Delimitação das Áreas de Preservação Permanente ao redor de lagos e reservatórios	38
5.4.2.4. Delimitação das Áreas de Preservação Permanente em topo de morros e montanhas	39
5.4.3. Processamento das imagens de satélite para classificação do uso e ocupação do solo.....	44
5.4.3.1. Geração do mapa de índice de vegetação.....	47
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
6.1. DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.....	48
6.1.1. Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água.	48
6.1.2. Áreas de Preservação Permanente ao redor de nascentes.....	49
6.1.3. Áreas de Preservação Permanente ao redor de lagos e reservatórios.....	50
6.1.4. Áreas de Preservação Permanente em topo de morros e em linhas de cumeada.	51
6.1.5. Análise do conjunto de dados.....	54
6.2. MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	56
6.3. INTERSECÇÃO DOS RESULTADOS	60
6.3.1. Mapa De Índice De Vegetação X APPs.....	60

6.3.2.APPs totais x Uso do Solo.	61
7. CONCLUSÕES	63
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1. INTRODUÇÃO

Um manancial é definido como todo o corpo de água interior subterrânea, superficial, fluente, emergente ou em depósito, efetiva ou potencialmente utilizável para o abastecimento público. A proteção desses mananciais visa à sobrevivência dos assentamentos urbanos e também a possibilidade de expansão urbana, possuindo função importante no quesito sustentabilidade (ANDRADE e ROMERO, 2005). Por outro lado, a degradação ambiental põe em risco o ambiente global e a sobrevivência das espécies. Problemas como as secas, erosões, enchentes, desaparecimento de nascentes e rios têm causado vários impactos ao ambiente urbano resultantes da destruição do ecossistema original, o que justifica a restauração da antiga vegetação e a conseqüente proteção dos mananciais (ALMEIDA, 2000 *apud* WAMMES *et al*, 2007).

As recentes catástrofes no Brasil ilustram esse cenário e mostram a ampla exposição da população a episódios de desastres naturais, e essa vulnerabilidade aumenta ainda mais em regiões pobres onde a capacidade de recuperação dos prejuízos é muito reduzida (TUCCI, 2011).

A Região Metropolitana de São Paulo constitui uma das menções mais conhecidas dos problemas ocorridos da urbanização intensa, como a poluição das águas, as grandes cheias e o assoreamento. À medida que a população migra para áreas anteriormente ocupadas pelas várzeas ou pelas florestas, o processo de desordem hidromorfológica tende a se ampliar (BARROS, 2004).

O Artigo 225 da Constituição Federal (1988) aponta o direito ao Meio Ambiente equilibrado e incumbe ao Poder público e a todos a sua manutenção e defesa, e aponta ainda os territórios e seus elementos que devem ser protegidos, proibindo sua utilização imprópria. A partir daí, a criação de novas áreas protegidas como as Unidades de Conservação reconhece a presença de padrões urbanos não sustentáveis, tendo em vista que nem mesmo os limites impostos nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) pelo Código Florestal têm sido respeitados pela lógica imobiliária (ANDRADE e ROMERO, 2005). A delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APP) representa o marco legal para a correta priorização das ações e programas governamentais. Para tanto é preciso proceder a um mapeamento acurado das áreas a serem protegidas (RIBEIRO, 2002).

O planejamento adequado de sistemas de drenagem pode minimizar os impactos ambientais gerados pela urbanização desordenada e o balanço hídrico modificado por ela. Quanto maior a compreensão a respeito da relação espaço urbano-ciclo hidrológico maior será o potencial do planejamento em minimizar os impactos negativos (PARKINSON *et al*, 2003). Sendo assim, faz-se necessária a busca de novos métodos para monitorar a expansão urbana e a ocupação de áreas de bacias hidrográficas, empregando-se tecnologias mais adequadas (ONO *et al*, 2005).

A dificuldade na delimitação de APPs através de métodos convencionais implica no não cumprimento da lei e explica o motivo pelo qual, apesar de passadas quatro décadas da promulgação do Código Florestal Brasileiro, ainda não há qualquer demarcação oficial das Áreas de Preservação Permanente no Brasil. Fatores como a morosidade, o alto custo e a baixa confiabilidade inerentes à delimitação manual das Áreas de Preservação Permanente impõe, assim, a busca por outras soluções que contemplem, necessariamente, a automatização desses procedimentos (RIBEIRO, 2002).

O uso de geotecnologias, entre as quais o Sensoriamento Remoto, que possibilita a aquisição de informações sinóticas sobre o uso atual da terra, e os Sistemas de Informações Geográficas, instrumentos destinados à análise e modelagem do espaço geográfico, têm se mostrado bastante eficiente na delimitação de APPs (GONÇALVES, 2009).

Assim, num país de dimensões continentais como o Brasil, torna-se imprescindível a delimitação confiável dessas áreas para auxiliar na aplicação e cumprimento das leis, bem como para a proteção dessas áreas.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivos a determinação das Áreas de Preservação Permanente da Bacia do Ribeirão Piraí, no estado de São Paulo, e então através de imagens do sensor TM, do satélite Landsat 5, estudar o uso e ocupação do solo nestas áreas anteriormente delimitadas, para a construção de um diagnóstico que facilite a aplicação das leis, tornando-se assim um instrumento auxiliar a ser aplicado na conservação deste manancial.

2. JUSTIFICATIVA

Estima-se que uma parcela considerável das terras atualmente destinadas à produção agropecuária e a reflorestamentos comerciais situe-se em Áreas de Preservação Permanente (WERTZ-KANOUNNIKOFF, 2005), fato que caracteriza crime ambiental pela Lei nº 9605/1998. Por isso, faz-se necessário a clara delimitação dessas áreas de preservação a fim da aplicação correta da lei, facilitando as atividades de fiscalização e planejamento territorial, e consequentemente o aumento e a proteção da qualidade ambiental para a região.

A região da bacia do Ribeirão Pirai é utilizada para a produção de água potável para os municípios de Itu, Indaiatuba e Salto, através da construção de um reservatório de acumulação e regularização de vazão, implicando a todos os municípios uma adequação de seus Planos Diretores Municipais à Legislação Estadual que dispõe acerca dos mananciais.

Desta forma, este trabalho demonstra sua importância ao servir como subsídio aos municípios na elaboração do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia do Ribeirão Pirai, necessário para a implantação da Lei Específica, definida pela Lei Estadual 9.866/1997, evitando o comprometimento significativo do manancial de abastecimento de água da região.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Elaborar um diagnóstico do uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente da Bacia do Ribeirão do Pirai no ano de 2010.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elaborar o mapa das Áreas de Preservação Permanente (APPs) da Bacia do Ribeirão Pirai – SP.
2. Elaborar o mapa de uso e ocupação do solo na Bacia do Ribeirão Pirai – SP.
3. Estudar o uso e ocupação do solo nas APPs da área de estudo no ano de 2010.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. ASPECTOS LEGAIS

A Legislação Ambiental brasileira é o conjunto de normas jurídicas produzidas pelos poderes representativos (executivo, legislativo e judiciário), e constituem a base para a determinação do contexto legal que permite o adequado manejo do meio ambiente e a utilização criteriosa de seus recursos (ANDRADE e ROMERO, 2005). Neste sentido, a Constituição Federal de 1988 em seu artigo nº 225 busca promover, além das corretivas, ações preventivas que controlem e restrinjam o uso da propriedade em prol do bem coletivo e do meio ambiente urbano equilibrado essencial para nossa sadia qualidade de vida.

A partir do primeiro Código Florestal Brasileiro, de 1934, as florestas e demais formas de vegetação foram classificadas como: protetoras, remanescentes, modelo e de rendimento e em seu artigo 4º foram definidas, o que conhecemos hoje por Áreas de Preservação Permanente (APPs) (AMARAL, 2010). No presente decreto, essas áreas ainda não eram conhecidas pelo nome de APPs, e de acordo com sua localização, eram consideradas florestas protetoras, a fim de: conservar o regime das águas, evitar erosão das terras, fixar dunas, assegurar condições de salubridade pública, entre outros.

Somente em 1965, as florestas protetoras passaram a APPs por meio do “novo” Código Florestal Brasileiro, Lei nº 4.771, de 15/09/1965, através do qual foi revelada a principal importância das APPs: a proteção de outros elementos que não apenas as árvores e florestas (AMARAL, 2010). Assim em seu Artigo 1º, Inciso II, as áreas de preservação permanentes são definidas como:

[...] área protegida nos termos dos arts. 2 e 3 desta Lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Entretanto, o processo de delimitação dessas últimas categorias de APPs não pode ser automatizado, devendo-se tratar cada caso

separadamente. Obviamente, sem os dados e ferramentas adequados, a complexidade do arranjo desses parâmetros espaciais torna praticamente impossível a determinação manual dos limites das APPs.

Com a Lei nº 6.938 de 31/08/1981, foram criados o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), que tem por objetivo:

“... a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana”.

Nos artigos 2º e 4º estão detalhados os princípios a serem seguidos na concretização de seus objetivos que são:

“o uso racional do solo, do subsolo, do ar e da água, o planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais, controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras e acompanhamento do estado da qualidade ambiental.”.

De acordo com Santos (2004), a Lei 6938/81 funciona como a *espinha dorsal* do art. 225 da Constituição Federal, de 1988, mostrando *o que fazer, quem vai fazer* e quais os *instrumentos* utilizados para fazê-lo. Deste modo, no referido artigo, as APPs são consideradas áreas espacialmente protegidas e sua alteração ou supressão somente podem ocorrer através da lei.

Alguns autores afirmam que as normas referentes às APPs possuem a legislação ambiental federal e a questão urbana mal trabalhadas, visto que *“as falhas presentes na legislação são apontadas como um dos fatores que mais contribuem para o descumprimento dessas normas em áreas urbanas”* (ANDRADE e ROMERO, 2005).

Em termos nacionais, as leis e normas que tratam, em algum aspecto, das Áreas de Preservação Permanente estão representadas na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Normas associadas às suas funções

Norma	Função
Código Florestal (Lei 4.771/1965)	Trata das florestas e demais formas de vegetação em território brasileiro.
Lei de Parcelamento Territorial Urbano(Lei nº 6.766/1979).	Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências.
Lei da Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA (Lei 6.938/1981)	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.
Constituição Federal (CF)*, parágrafo primeiro do artigo 225 da CF de 1988	Trata do meio ambiente ecologicamente equilibrado.
Lei dos Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998).	Determina as sanções penais e administrativas dos crimes ambientais.
Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (Lei 9985/2000).	Ordena as áreas protegidas, nos níveis federal, estadual e municipal.
Estatuto das Cidades (Lei nº 10.257/2001).	Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal e estabelece diretrizes gerais da política urbana.
Resoluções CONAMA 302 e 303 de 2002.	Detalhes das definições e limites de uma APP.

*A Constituição Federal (CF) funciona como base para todas as normas.

4.1.1. A Lei 9866/1997– A nova Lei dos Mananciais do Estado de São Paulo.

O objetivo da Lei Estadual nº 9.866, de 28 de novembro de 1997 (Capítulo I, Art. 1º) é proteger e recuperar as bacias hidrográficas de interesse regional.

Segundo Alvim (2003), a Lei Estadual dos mananciais é considerada um instrumento contemporâneo de planejamento ambiental, pois não assume uma verdade única para todas as áreas, negando o zoneamento rígido, e estabelece um conjunto de diretrizes e normas de

orientação que estão vinculadas à necessidade de elaboração de leis específicas no âmbito de cada sub-bacia. Tais legislações específicas devem instituir orientações de uso e ocupação do solo, dadas as características socioambientais e peculiares da realidade de cada uma, indo ao encontro da ideia da promoção do desenvolvimento sustentável.

No capítulo III, são propostos diversos instrumentos de planejamento e gestão, entre eles destaca-se o Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental (PDPA).

No PDPA estarão contidos, dentre outros (Capítulo VI, art. 31): diretrizes para as políticas setoriais de habitação, transporte, manejo de recursos naturais, saneamento ambiental e infra-estrutura que interfiram na qualidade dos mananciais; diretrizes para programas de indução à usos e atividades compatíveis com a proteção e recuperação ambiental da Área de Proteção e Recuperação de Mananciais (APRM); metas de curto, médio e longo prazo para atingir padrões mais elevados de qualidade ambiental; (...).

Em seu Capítulo IV, que trata do disciplinamento da qualidade ambiental, são criadas as Áreas de Intervenção (Art. 12), com o intuito de disciplinar o uso e ocupação do solo em locais que possam vir a afetar a qualidade dos mananciais.

Desta forma, este trabalho demonstra sua importância ao servir como subsídio aos municípios na elaboração do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia do Ribeirão Pirai, necessário para a implantação da Lei Específica, definida pela Lei Estadual 9.866/1997.

4.1.2. Resolução CONAMA N° 303/2002.

A Resolução CONAMA n° 303 de 20/03/2002 merece destaque, pois apresenta em detalhes as definições e limites de uma APP, sendo estes:

I - em faixa marginal com largura dependendo da largura do curso d'água;

II – em volta de nascente ou olho d'água de forma a proteger a bacia hidrográfica contribuinte;

III - ao redor de lagos e lagoas naturais, com faixa variável dependendo da localização (rural ou urbana);

IV - em espaço brejoso e encharcado com largura mínima de 50 metros a partir do limite;

V – *“no topo de morros e montanhas, em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação a base”*;

VI – *“nas linhas de cumeada, em área delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura, em relação à base, do pico mais baixo da cumeada, fixando-se a curva de nível para cada segmento da linha de cumeada equivalente a mil metros”*;

VII – *“em encosta ou parte desta, com declividade superior a 100% ou 45 graus na linha de maior declive”*;

VIII - nas escarpas e nas bordas dos tabuleiros e chapadas, a partir da linha de ruptura em faixa nunca inferior a cem metros em projeção horizontal no sentido do reverso da escarpa;

IX - nas restingas, com faixa mínima dependendo da vegetação;

X - em manguezal;

XI - em duna;

XII - em altitude superior a 1800 metros;

XIII - nos sítios de abrigo ou reprodução de aves migratórias ou exemplares da fauna ameaçadas de extinção;

XV - nas praias, onde há reprodução da fauna silvestre.

4.2. IMPORTÂNCIA DAS APPs

Uma Área de Proteção Ambiental compõe uma classe de Unidade de Conservação de Uso Sustentável onde atividades urbanas e rurais e espaços de interesse para preservação se relacionam. Portanto, essas Unidades precisam ser vistas como:

“instrumentos de proteção cuja função básica é a conservação dos atributos naturais, paisagísticos e culturais do Estado, assumidos como patrimônio de seus habitantes e tendo como objetivo principal adequar as atividades econômicas com a preservação da área, garantindo o desenvolvimento sustentável e a qualidade de vida das comunidades, ajustando aos princípios constitucionais que garantem o direito à propriedade privada e a sua função social” (IBAMA, 2001).

No agroecossistema, a importância das APPs assume aspectos físicos e também ecológicos prestados pela flora existente, incluindo os componentes bióticos e abióticos do agroecossistema (SKORUPA, 2003).

4.2.1. Importância Física

As raízes das plantas originam a estabilidade do solo nas encostas acentuadas, impedindo sua perda por erosão, promovendo a estabilidade do solo e resguardando as partes mais baixas do terreno (estradas e cursos d'água, por exemplo). Na área agrícola, os processos erosivos são evitados ou estabilizados com a vegetação, que serve também como quebra-ventos nas áreas de cultivo (SKORUPA, 2003).

Onde existem nascentes, a vegetação evita que a chuva atinja diretamente o solo e este seja gradativamente compactado, garantindo, assim, a sua porosidade. Esta, por sua vez, juntamente com o sistema de raízes das plantas, facilita a absorção da água das chuvas que alimentam os lençóis freáticos, evitando o escoamento superficial excessivo, pois o mesmo pode carregar partículas de solo e resíduos tóxicos para os cursos d'água, assoreando-os e poluindo-os (SKORUPA, 2003).

Ainda segundo Skorupa (2003) as APPs nas margens dos cursos d'água garantem a estabilização do solo evitando que partículas do mesmo sejam levadas para o leito dos cursos. Esses “filtros” impedem que a qualidade da água seja afetada, aumentando, assim, a vida útil de reservatórios, instalações hidroelétricas e sistemas de irrigação. A vegetação funciona também no controle hidrológico de uma bacia hidrográfica, através da regulação do fluxo de água superficial e subsuperficial, bem como do aquífero.

4.2.2. Importância ecológica

As APPs se constituem em refúgio e alimento para a fauna terrestre e aquática, bem como para os insetos polinizadores de culturas (pólen e néctar). Além disso, sua possível interconexão com APPs adjacentes ou com áreas de Reserva Legal funciona como corredores de fluxo gênico para os elementos da flora e da fauna (SKORUPA, 2003).

A importância para o solo advém de sua detoxificação por organismos da meso e microfauna associada às raízes das plantas; do controle de pragas do solo e da reciclagem de nutrientes. A vegetação

ainda promove a fixação de carbono, importante para a manutenção do clima global (SKORUPA, 2003).

4.3. IMPACTOS CAUSADOS PELA OCUPAÇÃO DE APPS

O processo de urbanização provoca profundas alterações no uso e ocupação do solo que modificam os comportamentos hidráulicos e hidrológicos das bacias hidrográficas. Este processo de transformação da bacia pode ocorrer muito rapidamente, gerando impactos na qualidade das águas, nos níveis e frequência de inundações e no transporte de sedimentos (BARROS, 2004). Entre os problemas provenientes das inundações estão o surto de dengue, a morte de pessoas que vivem em sítios de risco ambiental e a poluição de mananciais (PARKINSON *et al*, 2003).

Várias são as causas e as consequências das enchentes urbanas e a Figura 1 abaixo exemplifica as principais delas, juntamente com possíveis soluções e estudos a serem feitos.

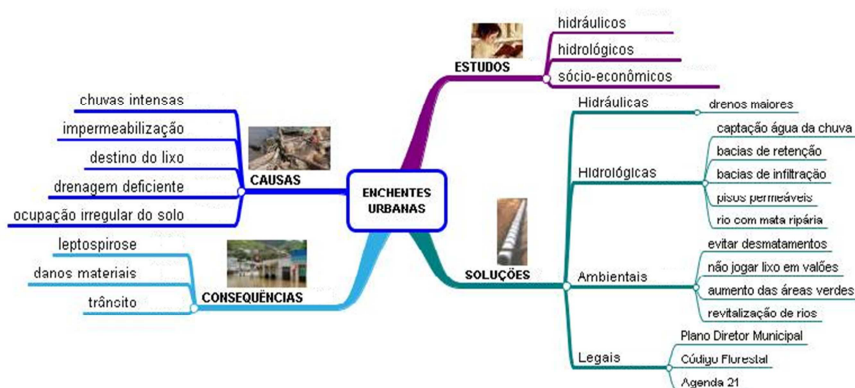


Figura 1 – Esquema das causas e soluções relacionadas às enchentes urbanas.

(Fonte: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/mma10.htm>. Acesso em: Janeiro de 2011).

A população urbana brasileira é de aproximadamente 80% (PARKINSON *et al*, 2003), o que representa, no geral, uma urbanização desordenada e falha no país. Quando não existe um planejamento da expansão urbana e fiscalização eficaz, a população de baixa renda ocupa os leitos dos corpos d'água. Tal processo intensifica o problema de

enchentes e inundações no Brasil, que além de interromperem o trânsito podem ainda destruir edificações. A ocupação imprópria facilita os processos erosivos e o deslizamento de encostas (PARKINSON *et al*, 2003).

O Atlas de Saneamento fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000) apresenta os municípios que sofrem com inundações e as pavimentações, com destaque para o estado de São Paulo (Figura 2).

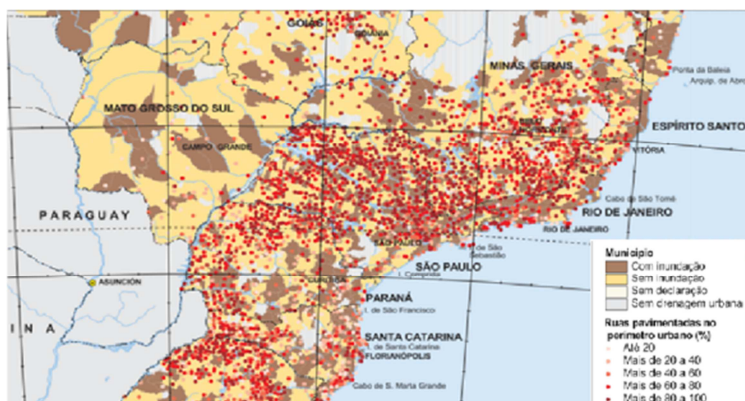


Figura 2 - Atlas de inundações e pavimentações no estado de São Paulo, de 1988 a 2000. Fonte: IBGE, 2000 apud PARKINSON *et al*, 2003.

4.3.1. APPs e áreas de risco

Existem as áreas de risco ambiental, risco de catástrofes e risco social: as Áreas de Preservação Permanente (APPs) são áreas de risco ambiental (BEVILACQUA, 2010), porque são consideradas impróprias para habitação ou por estarem submetidas a forças da natureza. As áreas de risco de catástrofes são propensas a deslizamentos, alagamentos, rupturas, erosão (Figura 3). Em geral, também são áreas de risco social, porque ao habitar tais locais a população está sujeita a mudanças de hábitos, comportamentos e padrões de vida caso venham a ser realocadas (BEVILACQUA, 2010). No Brasil, a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, proíbe, em seu art. 3º, parágrafo único, que as áreas de risco sejam loteadas para fins urbanos.



Figura 3 – Exemplo de área de risco

(Fonte: <http://www.jornaldelondrina.com.br>. Acesso: Janeiro de 2011.)

O processo acelerado de ocupação errônea promove desequilíbrio ambiental e afeta a área urbana. A ausência de permeabilidade do solo, a remoção da vegetação nas encostas, a locação de edificações nos cursos d'água e declividades acentuadas ocasionam problemas graves de deslizamentos nos eventos de chuvas intensas (HUBNER *et al*, 2005). Somente frente a estes riscos eminentes pode-se convencer o poder público, os técnicos e a população da necessidade da adoção de medidas preventivas aos problemas provenientes do processo de ocupação (HUBNER *et al*, 2005).

4.3.2. Medidas Preventivas

Para TUCCI (2011), faltam medidas preventivas que possam reduzir boa parte dos impactos causados pelas inundações, as quais poderiam ser: o zoneamento das áreas evitando a ocupação das mesmas; a implantação de sistemas de alerta de eventos de inundação; planos de Defesa Civil eficientes para atender a população atingida; mecanismos de apoio econômicos e de seguro de eventos críticos para os municípios de forma a incentivar a prevenção, além de um mecanismo institucional para ampliar os conceitos no país.

4.4. PLANEJAMENTO E GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

O conceito de planejamento de bacias hidrográficas atualmente engloba a integração de fatores ambientais e socioeconômicos. As características biogeofísicas de uma bacia hidrográfica relacionam sistemas hidrológicos e ecológicos, o que têm facilitado a sua utilização como unidade de planejamento e desenvolvimento (ZUCCARI, 2005).

Gerenciar bacias hidrográficas urbanas exige um entendimento vasto dos efeitos da dinâmica da transformação urbana (BARROS, 2004). Desde 1988, os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) atuam no Brasil para arbitrar conflitos pelo uso da água, estabelecer mecanismos, aprovar o Plano de Recursos Hídricos da Bacia, sugerir valores de cobrança pelo uso da água, entre outros atributos. Os CBHs são formados por membros colegiados e fazem parte do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (CBH, 2011).

Para Zuccari (2005), as bacias hidrográficas são unidades naturais de paisagem e seu equilíbrio dinâmico pode se desfazer com mudanças no uso da terra, pela falta de manejo ou planejamento. As bacias não são relacionadas com limites políticos, e possuem recursos e atividades interligadas e interdependentes. Atualmente, procura-se aplicar o modelo de gestão descentralizada e participativa para as definições de uso e ocupação do solo e solução de conflitos através dos comitês de bacias.

O Código Florestal brasileiro adota, implicitamente, a bacia hidrográfica como referencial para a definição das APPs.

4.4.1. Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto pode ser definido como a utilização de sensores remotos para aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos, por meio de energia eletromagnética ou radiação eletromagnética (INPE, 2011).

Os contínuos avanços tecnológicos na área de sensoriamento remoto por satélites têm permitido a rápida detecção e a obtenção de medidas acuradas de desmatamentos em qualquer ponto do planeta (SKOLE, 1993). Como exemplos do emprego dessa técnica estão os recobrimentos aerofotogramétricos e os imageamentos da superfície

terrestre por satélites de observação dos recursos naturais (AMARAL, 2010).

A tecnologia de sensoriamento remoto já demonstrou a sua capacidade de fornecer informações sobre a avaliação da disponibilidade, qualidade e quantidade de recursos naturais, tais como cultura, uso da terra, solos, entre outros (SETH; JAIN & JAIN, - s.d.), bem como as alterações e condições destes recursos, provocadas pelo seu uso, manejo ou por acidentes naturais ou culturais (AMARAL, 2010).

4.4.2. Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser definido como um sistema que visa à coleta, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de informações sobre entes com localização espacial, ou seja, informações que possam ser georreferenciadas. É um complexo formado por uma base de dados, software, hardware e organização de dados (SINGH, 1995).

Stern *et al* (2005) afirma que a cartografia digital e os Sistemas de Informações Geográficas introduziram um avanço tecnológico na coleção e armazenamento de dados para inventários, monitoramento, análise e simulação ambientais. Os mapas temáticos, em formato digital, passaram a ser armazenados num SIG como uma série de camadas georreferenciadas, onde cada camada ou plano de informação contém os atributos de um fenômeno espacial (ONO, 2008), ou seja, uma camada para tipo de solo, outra para rede de drenagem, etc. Um banco de dados alfanumérico complementa as informações espaciais que podem ser analisadas através de superposição de camadas, modelagem, análise de rede, entre outros.

O sucesso do planejamento de atividades de desenvolvimento depende da qualidade e quantidade das informações disponíveis sobre os recursos naturais e sócio-econômicos. Desta forma, os Sistemas de Informações Geográficas são as mais recentes ferramentas disponíveis para armazenar, recuperar e analisar diferentes tipos de dados para a gestão de recursos naturais. Os SIGs facilitam a manipulação sistemática de dados para gerar informações em um formato planejado. Assim, ele desempenha um papel importante na evolução de cenários alternativos para a gestão dos recursos naturais (SETH; JAIN & JAIN, - s.d.).

As aplicações do SIG incluem (ELIAS, 2005):

- Uso do Solo: identificação dos diferentes usos do solo e classes de cobertura;
- Mapeamento da vegetação: utilizando o sensoriamento remoto para gerar informações sobre a distribuição da vegetação do solo;
- Mapeamento da geomorfologia: é feita a discriminação das unidades de paisagem e as unidades de mapeamento são baseadas na litologia, no relevo, no padrão de drenagem, na vegetação natural e no uso da terra, juntamente com os elementos de imagem associados.
- Geologia e Hidrologia: interpretação preliminar de imagens de satélite para a demarcação dos limites litológicos, de lineamentos, e caracterização das diferentes unidades geomórficas.

A gratuidade dos dados e softwares para fins científicos tem estimulado o uso e aprimoramento das técnicas de geoprocessamento em pesquisas de todas as áreas, em destaque as ciências agrárias, ambientais e da Terra, como um processo de bastante desenvolvimento nas últimas décadas (AMARAL, 2010).

Neste contexto, a ferramenta SIG associada às imagens de alta resolução e a cartografia digital, permite aos pesquisadores a execução de questionamentos inteligentes ao sistema, simulando possíveis tendências a deslizamentos e visualizando as ocupações irregulares de encostas (HUBNER *et al*, 2005). Portanto, o desenvolvimento deste trabalho serve de apoio fundamental à tomada de decisões, permitindo a caracterização espacial de áreas de riscos ou de risco potencial em um nível local de atenção, no sentido de propiciar melhores intervenções tanto para controle como para prevenção, que se revela útil para aqueles que desejam minimizar os problemas de degradação ambiental. É através de uma gestão urbana eficaz que se pode analisar de maneira mais eficiente os eventuais impactos ambientais, regularizar e ordenar o uso e ocupação do território.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. LOCALIZAÇÃO

A bacia do Ribeirão Pirai está inserida na UGRHI – 5, Piracicaba, Capivari e Jundiaí, localizada no sudoeste do Estado de São Paulo

(Figura 4). A bacia do Ribeirão Pirai está localizada entre os vértices de coordenadas UTM (N= 7.438 km; E= 270 km) e (N= 7.420 km e E= 300 km) e abrange parcialmente o território dos municípios de Cabreúva, Itu, Salto e Indaiatuba (Figura 5).

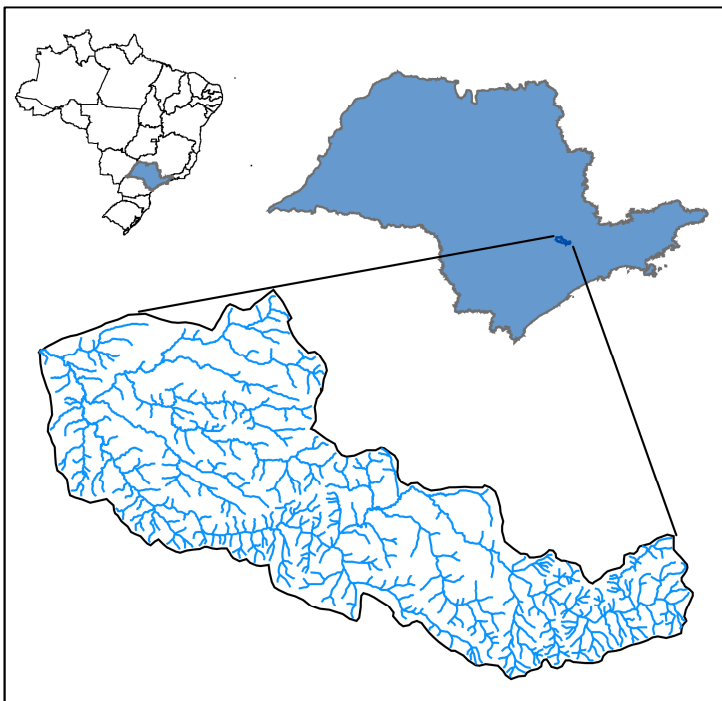


Figura 4. Localização da Bacia do Pirai, no Brasil e Estado de São Paulo.

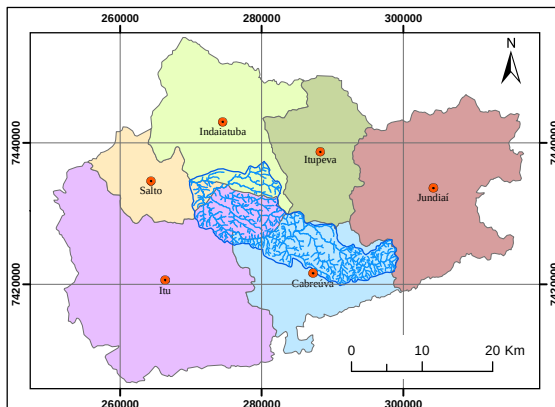


Figura 5 – A Bacia do Ribeirão Piraí e os municípios abrangidos

5.2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Em 29 de janeiro de 2007, o Consórcio Intermunicipal das Bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí através da Agência de Água PCJ fez publicar o Ato Convocatório nº. 02/07, visando à contratação de serviços técnicos especializados para o desenvolvimento e elaboração do Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Bacias PCJ) para o período de 2008-2020, com nova proposta de enquadramento dos corpos de água para as Bacias. Este plano abrangeu a Bacia do Ribeirão Piraí, exigindo o levantamento de muitos dados, alguns dos quais serão apresentadas a seguir. Os dados estão disponíveis no site do Sistema Autônomo de Água e Esgoto de Indaiatuba.

5.5.1. Caracterização da Bacia do Ribeirão Piraí

A bacia constitui uma importante área de mananciais, seu talvegue principal mede aproximadamente 47 km de extensão, e vários afluentes já estão sendo utilizados no abastecimento público. A Tabela 2 a seguir apresenta os valores totais de áreas por município e a porcentagem referente ao total.

Tabela 2 – Área por município – Bacia do Ribeirão Pirai

Municípios	Áreas	
	(ha)	(%)
Cabreúva	9.933	45
Itu	7.308	33
Salto	1.810	8
Indaiatuba	3.065	14
Total	22.115	100

Fonte: Base de dados SAAE (2011).

5.5.2. Regiões e Sub-regiões Hidrográficas

A Bacia do Pirai foi dividida em cinco regiões hidrográficas, de acordo com as características de ocupação do solo e conformação do sistema Hídrico e em 63 sub-bacias (Figura 6).



Figura 6 – Regiões Hidrográficas e Sub-bacias

5.5.3. Distribuição Populacional

A Tabela 3 mostra os dados populacionais dos municípios da região da Bacia do Ribeirão Pirai no Censo Demográfico do IBGE em 2000 e em 2010. Os municípios totalizam mais de 503 mil habitantes, tendo crescido em 94.585 habitantes nos últimos dez anos.

Tabela 3 – Dados populacionais

Municípios	População	
	2000	2010
Cabreúva	33.100	41.643
Itu	135.366	154.200
Salto	93.159	105.569
Indaiatuba	147.050	201.848
Total	408.675	503.260

Fonte: Censo IBGE 2000 e 2010

5.5.4. Caracterização Geológica da área

A Figura 7 foi produzida com os dados fornecidos pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil) e do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral).

A legenda apresentada foi simplificada para representar os principais tipos de rochas em que se encontra a bacia. Em sua maioria são rochas cristalinas e metamórficas, menos suscetíveis a processos erosivos do que rochas sedimentares ou muito alteradas. Quanto às estruturas (falhas e fraturamentos) não ocorrem nenhuma de grande importância, nessa escala, que pudesse trazer problemas como infiltrações (no caso da barragem) ou que possam favorecer o aparecimento de escorregamentos.

Os títulos minerários representam as atividades de mineração que ocorrem na bacia e permite prever os possíveis impactos que podem decorrer destas atividades, como por exemplo, o assoreamento de corpos hídricos.

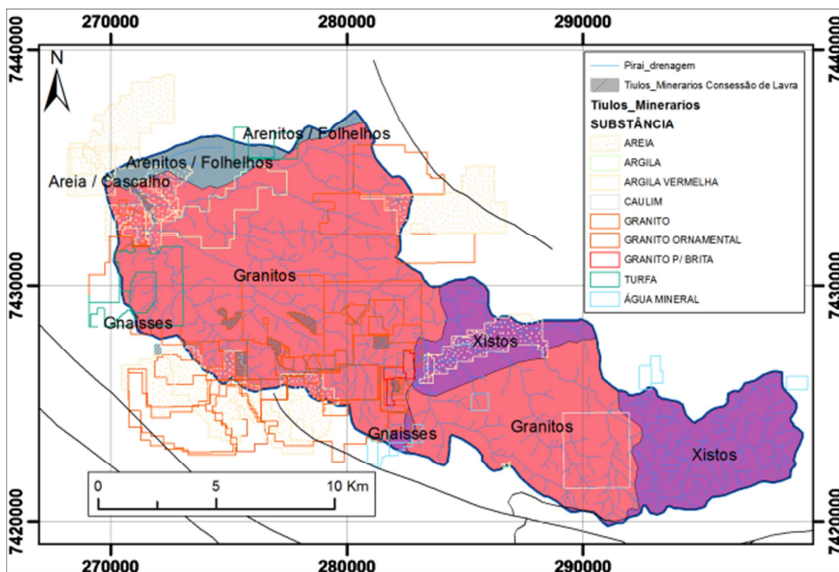


Figura 7. Títulos minerários e geologia da Bacia do Pirai. Adaptado de Perrota *et al*, 2005.

5.5.5. Barragem do Pirai

A barragem do rio Pirai estará situada próximo à cidade de Salto e tem a finalidade de criar um reservatório de regularização com um volume útil de 4,0 milhões de m³ que permite regularizar a vazão de 0,8 m³/s. É constituída por um maciço de terra com cerca de 35 m de altura e comprimento de 260 m. O término da construção da barragem está previsto para o ano de 2013.

O reservatório deverá receber as águas revertidas da bacia do rio Jundiuvira visando ao reforço do abastecimento urbano local que envolve as cidades de Salto, Itu e eventualmente Indaiatuba. A maior preocupação em termos ambientais relacionada à utilização do ribeirão Pirai como manancial, refere-se ao risco de comprometimento da futura qualidade da água do reservatório pelo lançamento, a montante, de efluentes domésticos e industriais provenientes do núcleo urbano de Jacaré, distrito de Cabreúva.

Nas áreas a serem impactadas com a construção da barragem, formação do reservatório e entorno próximo, a ocupação é rarefeita, em propriedades rurais, com aproveitamento econômico reduzido devido às características de pedregosidade e aridez predominantes. As matas existentes na área de inundação apresentam variados graus de sucessão, predominando o estágio médio de regeneração natural e ocorrendo de forma descontínua.

5.5.6. A APA Cabreúva

As nascentes do Ribeirão Pirai estão localizadas na Serra do Japi e Guaxinduva, inseridas na APA (Área de Preservação Ambiental) de Cabreúva. Esta APA foi regulamentada junto com a APA Jundiá, pelo Decreto Estadual nº 43.284, de 03 de julho de 1998, o qual estabeleceu para ambas, o zoneamento ambiental, as normas e diretrizes para uso e ocupação do solo e o Colegiado Gestor. No Título I, Capítulo I, artigo 3º deste decreto estão delimitadas a finalidade da criação da APA, que se segue abaixo:

“Na aplicação deste decreto devem ser observados os seguintes fins e exigências:

I - a preservação e a recuperação dos remanescentes da biota local;

II - a proteção e recuperação dos cursos d’água.”

O Capítulo II do referido decreto estabelece os meios para que sejam atingidas essas finalidades e dentre eles estão estabelecidos: o veto de lançamentos de efluentes líquidos; a obrigatoriedade de licenciamento para futuras obras ou empreendimentos, bem como para a ampliação daquelas já regularmente existentes; diretrizes para os novos parcelamentos do solo; entre outras exigências e obrigatoriedades.

O Capítulo I do Título II trata do zoneamento ambiental da área, onde são definidas as seguintes zonas, detalhadas no referido decreto:

I - zona de vida silvestre;

II - zona de conservação da vida silvestre;

III - zona de conservação hídrica;

IV - zona de restrição moderada.

A presença das nascentes do Ribeirão Pirai em área de APA reforça ainda mais a necessidade de estudos de uso e ocupação do solo na área da bacia.

A Figura 8 ilustra a área de nascentes da Bacia do Ribeirão Pirai contida na APA Cabreúva.

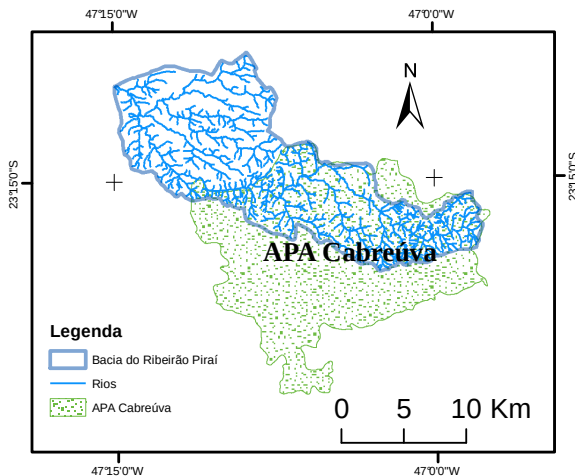


Figura 8. A APA Cabreúva e a Bacia do Ribeirão Pirai

5.3. MATERIAL

Os materiais utilizados para a realização do presente estudo foram:

- Cartas topográficas digitais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala (1:50.000), sendo o sistema de coordenada padrão UTM e fuso 23S :
 1. Folha Itu (SF-23-Y-C-II-3), *datum* Córrego Alegre;
 2. Folha Indaiatuba (SF-23-Y-C-II- 2), *datum* Córrego Alegre;
 3. Folha Salto (SF-23-Y-C-II-1), *datum* Córrego Alegre;
 4. Folha Cabreúva (SF-23-Y-C-II- 4), *datum* Córrego Alegre;
 5. Folha Santana do Parnaíba (SF-23-Y-C-III-3), *datum* SAD 69.

A articulação das cartas topográficas utilizadas pode ser observada através da Figura 9.

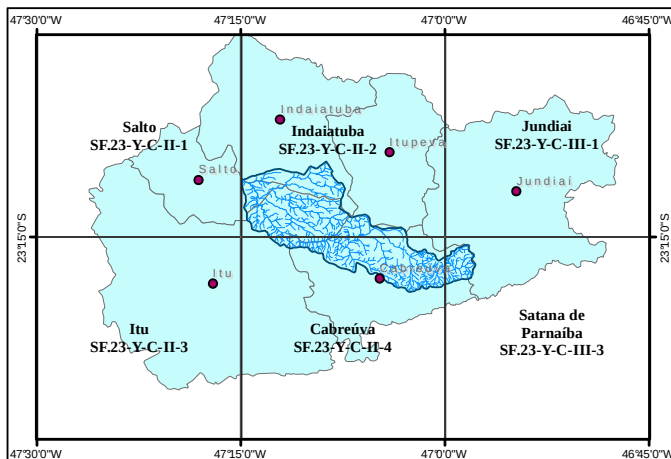


Figura 9. Articulação das cartas utilizadas no trabalho.

- Imagens de satélite:
 1. LANDSAT 5 - sensor TM (*Thematic Mapper*), de órbita 219 e ponto 76, com resolução espacial de 30m, obtida em 24 de agosto de 2010, obtida gratuitamente pelo site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (www.inpe.br).
- Modelos Digitais de Elevação:
 1. SRTM - resolução espacial de 3 arcos de segundo (aproximadamente 90m), obtido gratuitamente através do site do Projeto Brasil em Relevo (<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>);
- Softwares:
 1. ArcGIS 10 (ESRI, 2010), extensão *Spatial Analyst Tools*;
 2. ENVI 4.7 (ITT Visual Information Solutions, 2009);
 3. Google Earth 6.0 (Google Inc., 2010).

5.4. MÉTODOS

Para o desenvolvimento do método em questão, foram abordados os termos constantes na Resolução do CONAMA Nº 303 de 20 de março de 2002 (CONAMA, 2002), através da aplicação de técnicas envolvendo sistemas de informações geográficas (SIG) e modelagem digital de elevação.

A Tabela 4 sintetiza os resultados obtidos e os materiais utilizados para alcançá-los.

Tabela 4. Materiais utilizados.

Materiais	Resultados
Cartas topográficas, vetor Hidrografia.	Mapa das APPs de Nascentes
	Mapa das APPs de Mananciais
Modelo Digital de Elevação	Mapa das APPs de Topo de Morro
	Mapa das APPs de Linhas de Cumeada
Imagens de sensor óptico orbital	Mapa do uso e ocupação do solo

5.4.1. Padronização dos dados digitais

Primeiramente, as cartas topográficas (na escala 1:50.000) provenientes do IBGE (www.ibge.gov.br) foram convertidas em arquivo *shapefile*. A partir daí foi definido o sistema de projeção de acordo com o *datum* original de cada uma das folhas, e então foram convertidos para a Projeção Universal de Mercator (UTM), zona vinte e três – Sul (23S) e *datum* WGS 84, a fim de padronizar suas projeções.

5.4.2. Edição dos mapas

A edição dos mapas foi realizada no programa ArcGIS (versão 10), de acordo com os parâmetros, definições e limites dispostos nas Resoluções CONAMA nº302 e 303, de 20 de março de 2002.

Foi realizada a junção das cinco cartas a serem trabalhadas e então foi recortada a Bacia do Ribeirão Piraí. A partir de então foi feita a edição da rede hidrográfica vetorial, que seguiu os seguintes passos:

- Simplificação das interrupções dos vetores (lagos e reservatórios), pela geração das respectivas linhas de centro;
- Conexão de todos os arcos constituintes da rede hidrográfica;
- Orientação dos arcos da rede hidrográfica no sentido do respectivo escoamento.

5.4.2.1. Delimitação das Áreas de Preservação Permanente ao longo dos cursos d'água

O mapa de Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água foi elaborado a partir das seguintes definições, parâmetros e limites dispostos na Resolução CONAMA nº 303, de 2002:

“Art. 2º Para os efeitos desta Resolução, são adotadas as seguintes definições: I - nível mais alto: nível alcançado por ocasião da cheia sazonal do curso d'água perene ou intermitente; [...]

Art. 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área situada: I - em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima, de: a) trinta metros, para o curso d'água com menos de dez metros de largura; b) cinquenta metros, para o curso d'água com dez a cinquenta metros de largura; c) cem metros, para o curso d'água com cinquenta a duzentos metros de largura; d) duzentos metros, para o curso d'água com duzentos a seiscentos metros de largura; e) quinhentos metros, para o curso d'água com mais de seiscentos metros de largura; [...]”

Para a delimitação destas áreas de preservação permanente foi necessária a correção do vetor hidrografia (conforme explicitado anteriormente).

Outro passo necessário é a medição do tamanho da largura do curso do rio, para a correta aplicação do tamanho de APP segundo a legislação. A medição foi realizada através do software Google Earth 6.0 e para a área de estudo foi verificado que todos os rios possuíam tamanho da calha menor que 10 metros, portanto a área se enquadra no item a, do Artigo 3º da Resolução CONAMA 303, de 2002, em que se

estabelecem 30 metros de Áreas de Preservação Permanente ao longo da calha. A partir de então, foram aplicadas os 30m de faixa marginal através da ferramenta *Buffer*, do ArcGIS 10.

5.4.2.2. Delimitação das Áreas de Preservação Permanente ao redor de nascentes

O mapa de Áreas de Preservação Permanente ao redor de nascentes foi elaborado a partir das seguintes definições, parâmetros e limites dispostos na Resolução CONAMA nº 303, de 2002:

“Art. 2º Para os efeitos desta Resolução, são adotadas as seguintes definições: II - nascente ou olho d'água: local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea;

Art. 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área situada: II - ao redor de nascente ou olho d'água, ainda que intermitente, com raio mínimo de cinquenta metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte;[...]”

Para a determinação das nascentes foram identificados os pontos iniciais dos vetores de hidrografia, editados anteriormente, e a partir de então foi aplicada a ferramenta *Buffer* novamente, agora com o valor de 50m, para atender adequadamente o disposto na Resolução 303 do CONAMA, 2002.

5.4.2.3. Delimitação das Áreas de Preservação Permanente ao redor de lagos e reservatórios

O mapa de Áreas de Preservação Permanente ao redor de lagos e reservatórios foi elaborado a partir das seguintes definições, parâmetros e limites dispostos na Resolução CONAMA nº 303, de 2002:

“Art. 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área situada: III - ao redor de lagos e lagoas naturais, em faixa com metragem mínima de: a) trinta metros, para os que estejam situados em áreas urbanas consolidadas; b) cem metros, para as que estejam em áreas rurais, exceto os corpos d'água com até vinte hectares de superfície, cuja faixa marginal será de cinquenta metros;[...]”

Para a delimitação dos lagos e reservatórios foram criados polígonos através da imagem do satélite LANDSAT 5 (sensor TM), de

órbita 219 e rota 76, com resolução espacial de 30m, obtida em 24 de agosto de 2010. Após a criação dos polígonos no ArcGIS 10, a localização dos mesmos em área urbana ou rural foi conferida através do software Google Earth (que possui imagens georreferenciadas de alta resolução), e desta maneira foi criada uma tabela com o tamanho dos buffers a serem aplicados (30m ou 100m), de acordo com a localização em áreas urbanas consolidadas ou áreas rurais.

5.4.2.4. Delimitação das Áreas de Preservação Permanente em topo de morros e montanhas

O mapa para a delimitação de APPs em topos de morro e montanhas foi elaborado a partir das definições, parâmetros e limites da Resolução CONAMA nº 303, de 2002:

“Art. 2º Para os efeitos desta Resolução, são adotadas as seguintes definições:

IV - morro: elevação do terreno com cota do topo em relação a base entre cinquenta e trezentos metros e encostas com declividade superior a trinta por cento (aproximadamente dezessete graus) na linha de maior declividade; V - montanha: elevação do terreno com cota em relação a base superior a trezentos metros; VI - base de morro ou montanha:

plano horizontal definido por planície ou superfície de lençol d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota da depressão mais baixa ao seu redor; [...]

Art. 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área situada: V - no topo de morros e montanhas, em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação a base; [...]

Parágrafo único. Na ocorrência de dois ou mais morros ou montanhas cujos cumes estejam separados entre si por distâncias inferiores a quinhentos metros, a Área de Preservação Permanente abrangerá o conjunto de morros ou montanhas, delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura em relação à base do morro ou montanha de menor altura do conjunto, aplicando-se o que segue: I - agrupam-se os morros ou montanhas cuja proximidade seja de até quinhentos metros entre seus topos; II - identifica-se o

menor morro ou montanha; III - traça-se uma linha na curva de nível correspondente a dois terços deste; e IV - considera-se de preservação permanente toda a área acima deste nível.”

A Figura 10 exemplifica os parâmetros para delimitação das APPs de morro e de montanha, conforme descrito no dispositivo legal acima.

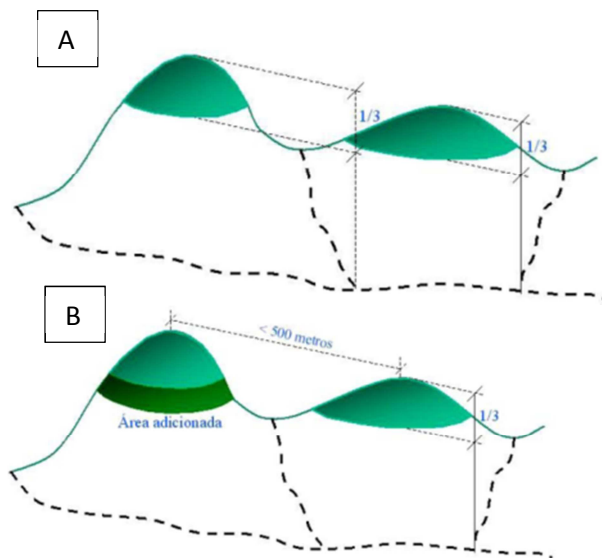


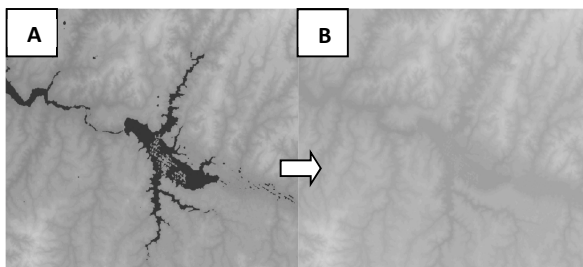
Figura 10. Esquema ilustrativo da aplicação do terço superior em áreas elevações: A- morros e montanhas isoladas. B- conjunto de morros e montanhas (com distância < 500m). Fonte: Hott *et al* (2004).

A metodologia para a delimitação de áreas de preservação permanente de topos de morro e montanhas via métodos de SIG, baseia-se na elaboração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC). Estes modelos caracterizam-se por ter coincidentes as drenagens derivadas numericamente e a hidrografia real, estando isentos de sumidouros (depressões espúrias) que bloqueiem o trajeto do escoamento de água superficial (HELLWEGGER, 1997; HUTCHINSON, 1989). Para a geração das APPs derivadas do MDEHC para a Bacia do Ribeirão Pirai será utilizado a metodologia adaptada de Peluzio *et al*, 2010 e Hott *et al*, 2004.

Para a geração do MDEHC, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) proveniente da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), originário da missão da NASA (Agência Espacial e Aeronáutica) e NGA (Agência Nacional de Inteligência Geoespacial) dos Estados Unidos, executado no ano 2000, e disponibilizado pelo USGS Eros Data Center (Centro de Dados do Departamento de Levantamento Geológico dos Estados Unidos).

Para a geração do MDEHC foi utilizada a ferramenta *Topo to raster*, do software ArcGIS versão 10. Essa ferramenta gera superfícies a partir da interpolação de curvas de nível ou pontos cotados com a superimposição¹ da rede hidrográfica. O primeiro passo foi converter o MDE para uma malha de pontos originados a partir do centro das células para serem reinterpolados junto a hidrografia derivada do mapa topográfico. Optou-se por reamostrar o tamanho das células para 30m, para compatibilizar com as imagens do satélite Landsat 5, apesar de ser conhecida a perda de informação devido a suavização inerente ao processo.

Após a geração do MDEHC, houve a necessidade da realização de um refinamento no modelo do SRTM para sua utilização no trabalho de mapeamento da APP. Desta forma, através do comando *Fill*, foram excluídas as depressões espúrias do modelo que poderiam bloquear o escoamento superficial, introduzindo erros na delimitação das bacias de contribuição situadas a jusante das células associadas a essas depressões e nos trajetos de escoamento à montante delas. A Figura 11 exemplifica esse processo de eliminação das depressões espúrias.



¹ Superimposição: Na engenharia ou geologia é definida como a formação de vales ou de sistemas de drenagem sobre rochas sedimentares, independentemente da sua estrutura; drenagem epigênica.

Figura 11 - O processo de refinamento do MDEHC, em (A) ainda com as depressões espúrias, em (B) após a etapa de refinamento.
Fonte: Hott *et al*, 2005.

Em seguida, foram determinadas as células que fluem para o cume de cada elevação, num fluxo revertido, utilizando o MDEHC produzido. Esse processo de inversão do MDEHC foi apresentado por Hott *et al* (2004), e tem como objetivo materializar os limites e bases de morros e montanhas, com referência à depressão mais profunda ao redor da elevação, conforme dispositivo legal, em contraposição à alternativa da planície ou curso d'água adjacente à elevação. A Figura 12 exemplifica a metodologia.

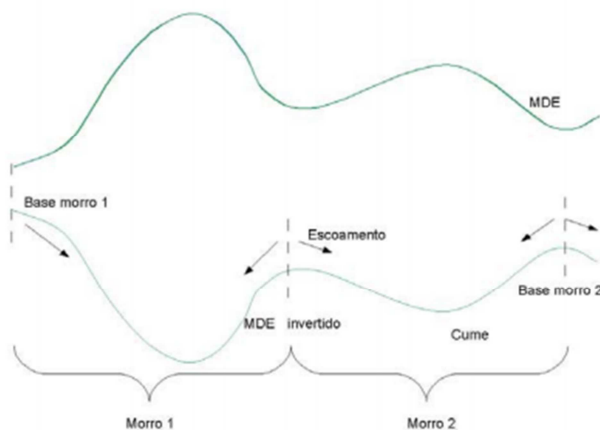


Figura 12. Representação da metodologia de Hott . (2004). Fonte: Victoria . (2008).

Posteriormente, foram calculadas as elevações máximas e mínimas e a declividade em cada uma dessas áreas, permitindo assim remover os morros e montanhas que não se enquadravam na resolução CONAMA 303/2002, quanto aos limites de declividade e elevação. Por fim, agruparam-se os morros distantes a menos de 500 metros e calculou-se a cota do terço superior de todos os morros, a partir do terço superior do morro de menor elevação do conjunto agrupado (Hott *et al*, 2004).

Já o mapa de Áreas de Preservação Permanente (APPs) em linhas de cumeada foi elaborado a partir das seguintes definições, parâmetros e limites, presentes na Resolução CONAMA nº 303, de 2002:

“Art. 2º Para os efeitos desta Resolução, são adotadas as seguintes definições:

VII - linha de cumeada: linha que une os pontos mais altos de uma sequência de morros ou de montanhas, constituindo-se no divisor de águas; [...]”.

“Art. 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área situada: VI – nas linhas de cumeada, em área delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura, em relação à base, do pico mais baixo da cumeada, fixando-se a curva de nível para cada segmento da linha de cumeada equivalente a mil metros; [...]”.

Ou seja, as APPs para linhas de cumeada diferem-se das de topo de morro pelo tamanho do agrupamento dos morros e montanhas, enquanto para morros e montanhas o valor é de 500m, para linhas de cumeada o agrupamento é de 1000m, fato exemplificado através da Figura 13.

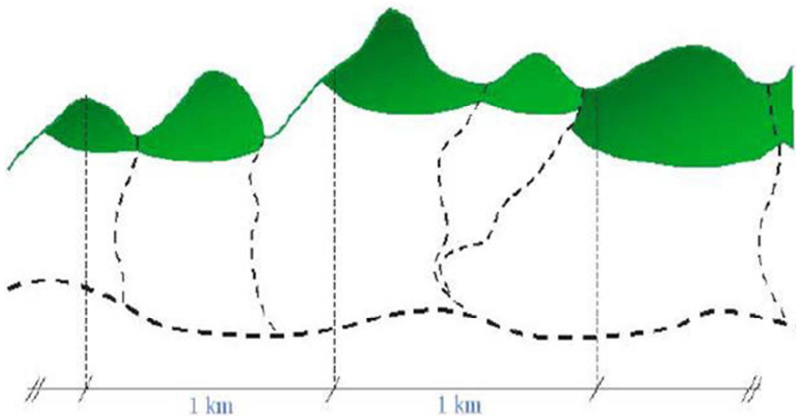


Figura 13. Linhas de cumeada (conjunto de morros e/ou montanhas com distância < 1.000 m).
Fonte: Hott *et al* (2004).

Desta forma, para a delimitação de APPs de linha de cumeada foi seguida a metodologia de Amaral (2010), que implica em uma adaptação daquela já desenvolvida por Hott *et al* (2004).

Deste modo, a Figura 14 apresenta os passos realizados para a obtenção das APPs de topo de morro e em linhas de cumeada. Para essa delimitação foram utilizados os módulos seguintes software ArcGIS 10, contidos na expansão *Spatial Analyst Tools: Hydrology; Raster Calculator; Surface; Zonal Statistics*, dentre outros.

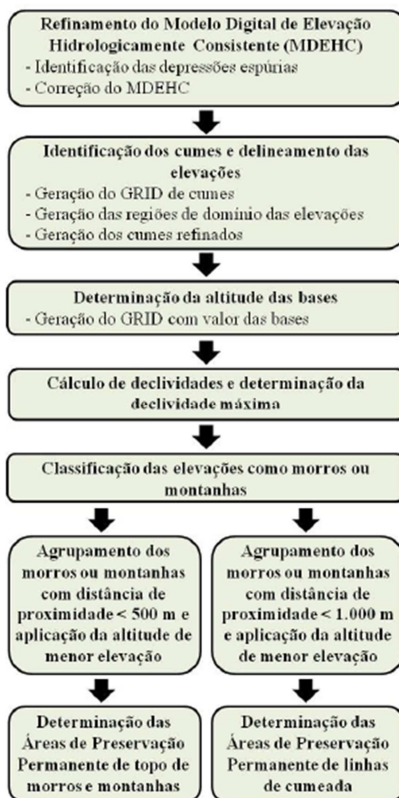


Figura 14. Metodologia para delimitação de APPs em topo de morros (Hott , 2004) e em linhas de cumeada (adaptado de Hott , 2004). Fonte: Amaral, 2010.

5.4.3. Processamento das imagens de satélite para classificação do uso e ocupação do solo.

Para a classificação do uso e ocupação do solo foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, órbita 219 e ponto 76, com resolução espacial de 30m, obtida em 24 de agosto de 2010, disponibilizada através do site do INPE.

Foi realizada a junção de todas as bandas em uma única cena, utilizando-se o software Envi 4.7, e então foi realizada a correção atmosférica da imagem utilizando-se a ferramenta QUAC (*Quick Atmospheric Correction*), para que fosse eliminada a interferência na resposta espectral de nuvens e fumaças provenientes de queimadas. Foi feito o georreferenciamento da imagem, para adequá-la à precisão da escala 1:50.000, através da captura de pontos de controle no mapa topográfico para que fosse gerada uma tabela de correlação, com os pontos da imagem, sendo que o erro padrão correspondesse a no máximo 0,3 mm, como estabelecido no PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), (IBGE, 2000).

A classificação de imagens corresponde a um processo de extração de informações em imagens. Por meio desse processo, os pixels de uma imagem são agrupados em classes ou temas (QUARTAROLI; BATISTELLA, 2006). O processo de classificação pode ser supervisionado ou não supervisionado. A classificação não supervisionada é um método computacional automático de agrupamento (ERDAS, 1999), em que os pixels são examinados e agregados em classes com base nos agrupamentos naturais presentes nos valores da imagem (LILLESAND *et al*, 2004) . Já na classificação supervisionada, o usuário inicialmente aponta um conjunto de amostras de treinamento para cada classe que deseja diferenciar na imagem (INPE, 2011).

Neste trabalho, primeiramente, foi realizada uma classificação não supervisionada, para que fossem identificados os agrupamentos homogêneos, utilizando-se o método ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques*), em que as classes são determinadas pela análise de agrupamento (*Cluster Analysis*), através da identificação de pixels com características similares, resultando em cinco classes bem definidas.

Após a geração do mapa com as classes de uso e ocupação do solo, foi aplicado um filtro de suavização (passa baixas), a fim de refinar a classificação e eliminar classes pouco representativas (com poucos pixels). Posteriormente a esse processo foram gerados polígonos das classes e atribuídos sua composição através da tabela de atributos.

Em seguida foi realizada uma classificação supervisionada com o objetivo de se obter um maior controle sobre as classes geradas, através do método de máxima verossimilhança, também por meio do software Envi 4.7.

Erbert (2001) salienta que o método da Máxima Verossimilhança (MAXVER) é o mais utilizado em sensoriamento remoto dentro da abordagem estatística. É um método considerado paramétrico, pois envolve parâmetros (vetor média e matriz de covariância) da distribuição gaussiana multivariada e é supervisionado, pois estima estes parâmetros através das amostras de treinamento.

Foram definidas cinco classes de treinamento sendo criados os polígonos em torno das feições que puderam ser claramente distinguidas na imagem, uma vez que neste trabalho não foi possível realizar visitas em campo, para que fossem definidas as amostras.

A Tabela 5 a quantidade de áreas de treinamento utilizadas para cada classe e também a quantidade de pontos amostrais (pixels) dentro de cada área.

Tabela 5. Áreas de Treinamento da Classificação Supervisionada.

Classe	Número de áreas de treinamento	Número de pontos amostrais
Floresta	23	37.626
Campo	7	2.876
Queimada	3	9.09
Área Urbana / Solo arenoso	16	6.459
Solo exposto vermelho	5	1.257

A confiabilidade do mapeamento do uso e cobertura da terra foi realizada por meio da acurácia baseada no cálculo de coeficientes estatísticos. A avaliação da acurácia é o processo usado para se estimar a exatidão do mapeamento confrontando o resultado da classificação com dados de referência denominados “verdades terrestres”, produzindo uma

matriz de erros (matriz de confusão) a partir da qual coeficientes estatísticos podem ser derivados e indicam a acurácia de classes individuais e de todo o mapa (CAETANO; MATA; FREIRE, 2006).

A estimativa da acurácia pode ser computada pelo índice de concordância *Kappa*, entre a “verdade terrestre” e o mapeamento temático. O resultado da estatística *Kappa* normalmente é comparado aos valores contidos na Tabela 6, a fim de indicar a qualidade do mapa temático.

Tabela 6. Índice Kappa e a respectiva qualidade de classificação.

<i>Valor de Kappa</i>	<i>Qualidade do mapa</i>
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977 *apud* MOREIRA, 2001).

Para a realização do Índice *Kappa*, foram separadas áreas de treino (diferentes daquelas que foram usadas na classificação por MaxVer), utilizando como “verdade do terreno” áreas diretamente extraídas da imagem do satélite Landsat 5.

5.4.3.1. Geração do mapa de índice de vegetação

Os índices de vegetação são transformações lineares de bandas espectrais (razão de bandas), geralmente nas faixas do vermelho (V) e infravermelho próximo (IVP) do espectro eletromagnético (EPIPHANIO *et al*, 1996).

O *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) que foi proposto por Huete (1988) possui a propriedade de minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação ao incorporar uma constante de ajuste de solo, o fator L que varia com a característica da reflectância do solo (calor e brilho) e vai variar dependendo da densidade da vegetação que se deseja analisar (ROSENDO, 2005). A equação do SAVI é escrita da seguinte maneira:

$$SAVI = \frac{IVP - V}{IVP + V - L} \times (1 + L);$$

em que L é a variável de ajuste do solo.

Para o presente trabalho foi utilizado o Índice de Vegetação SAVI, com o fator L= 0,5, valor mais frequente da literatura. O programa utilizado foi o ENVI 4.7, no qual foi gerado um mapa distinguindo-se áreas de vegetação e não vegetação. Após a geração da imagem foi aplicado um filtro de suavização (passa baixa) com intuito de melhor separar as áreas e posteriormente foram criados os polígonos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

A bacia do Ribeirão Pirai apresenta na escala de estudo (1:50.000), as seguintes categorias de Áreas de Preservação Permanente:

- a) Ao longo de cursos d'água
- b) Ao redor de nascentes
- c) Ao redor de lagos e reservatórios artificiais, rurais e urbanos;
- d) Em topos de morro e montanhas.

A bacia do Pirai apresenta ao todo uma área de 21.845,14 ha, sendo que deste total 11.622,49 ha representam áreas individuais de APPs. Neste valor está incluída a sobreposição de categorias de APPs, por exemplo, o que ocorre quando uma mesma área é considerada APP por ser nascente e por ser topo de morro simultaneamente. Ao eliminar essas sobreposições, a área de APPs passa para 7.171,44 ha, ou seja, 32,82% da área total da bacia.

6.1.1. Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água.

As áreas de APPs de cursos d'água totalizam 2.761, 69 ha, representando 23,76% da do total de APPs. A Figura 15 apresenta o resultado da delimitação das APPs de cursos d'água.

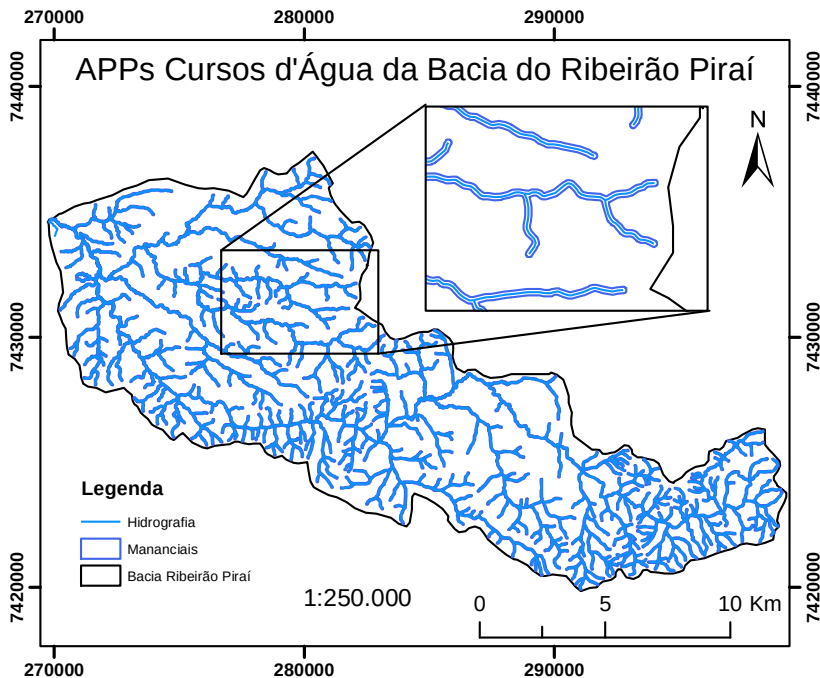


Figura 15. Mapa de Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água da Bacia do Ribeirão Pirai.

6.1.2. Áreas de Preservação Permanente ao redor de nascentes.

As áreas de preservação permanente ao redor de nascentes totalizam uma área de 321,16 ha, representando 2,76% do total de APPs. A Figura 16 representa a delimitação desta categoria de APPs na bacia do Ribeirão Pirai.

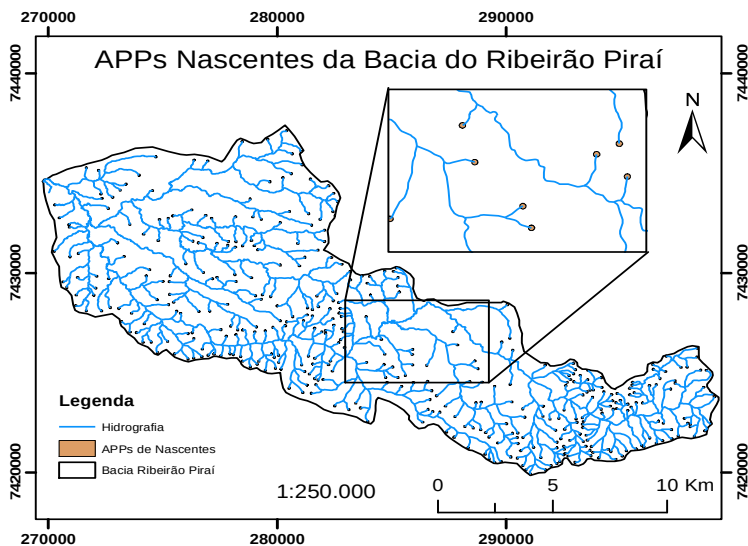


Figura 16. Áreas de Preservação Permanente de nascentes da Bacia do Ribeirão Pirai

6.1.3. Áreas de Preservação Permanente ao redor de lagos e reservatórios.

De acordo com a metodologia utilizada, foram diferenciados os lagos e reservatórios localizados em áreas urbanas e rurais. Na área de estudo não foi encontrado nenhum reservatório artificial, e através da Tabela 7 podem ser verificados esses resultados.

Tabela 7. Áreas de APPs de lagos e reservatórios.

Corpos d'água	Quantidade (unid.)	Área lagos (ha)	Área APPs (ha)
Lagos rurais	83	66,46	293,36
Lagos urbanos	10	10,43	26,79
TOTAL	93	76,89	319,96

As áreas de preservação permanente ao redor de lagos totalizam uma área de 319,96 ha, representando 2,75% do total de APPs da bacia do Ribeirão Pirai. A Figura 17 representa a delimitação desta categoria de APPs na bacia do Ribeirão Pirai.

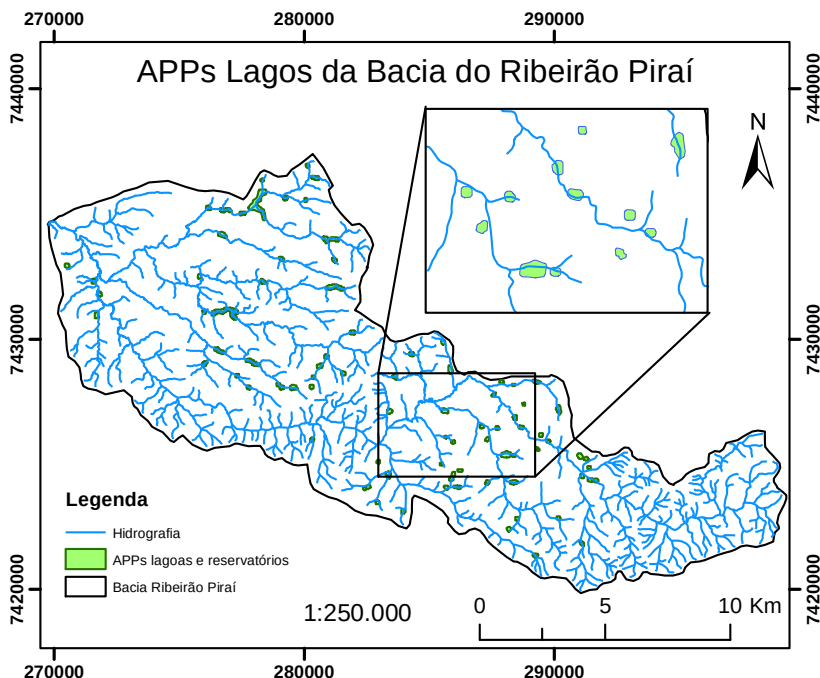


Figura 17. Áreas de preservação permanente ao longo de lagos e reservatórios na Bacia do Ribeirão Pirai.

6.1.4. Áreas de Preservação Permanente em topo de morros e em linhas de cumeada.

De acordo com a metodologia utilizada, as áreas de preservação permanente em topo de morros totalizam uma área de 3.956,67 ha, representando 34,04% do total de APPs da bacia do Ribeirão Pirai. As linhas de cumeada também representam grande parte das APPs, somando 4.263,01 ha e representando 36,08% das APPs. As Figuras 18 e 19 representam a delimitação destas categorias de APPs na bacia do Ribeirão Pirai.

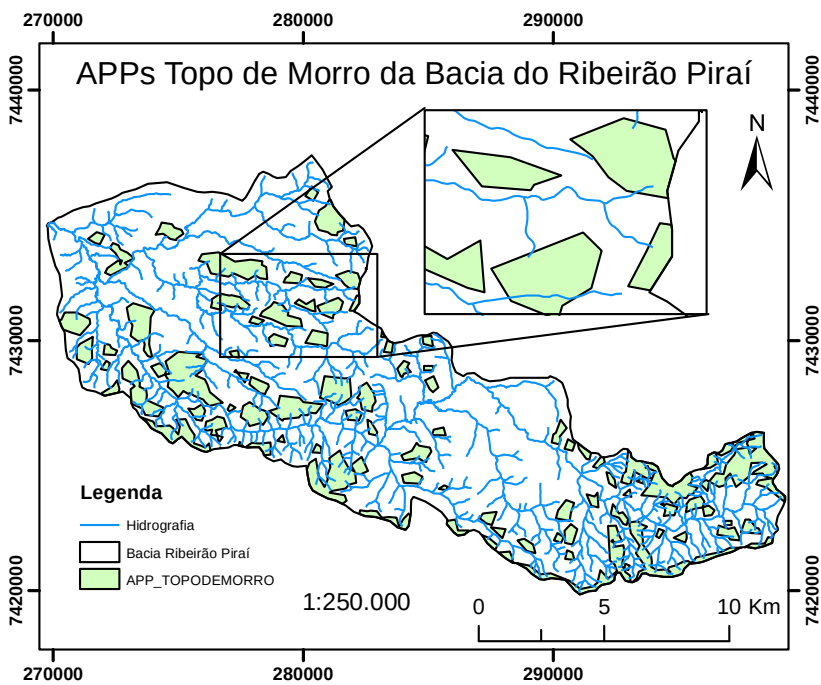


Figura 18. APPs de Topo de Morro da Bacia do Ribeirão Pirai.

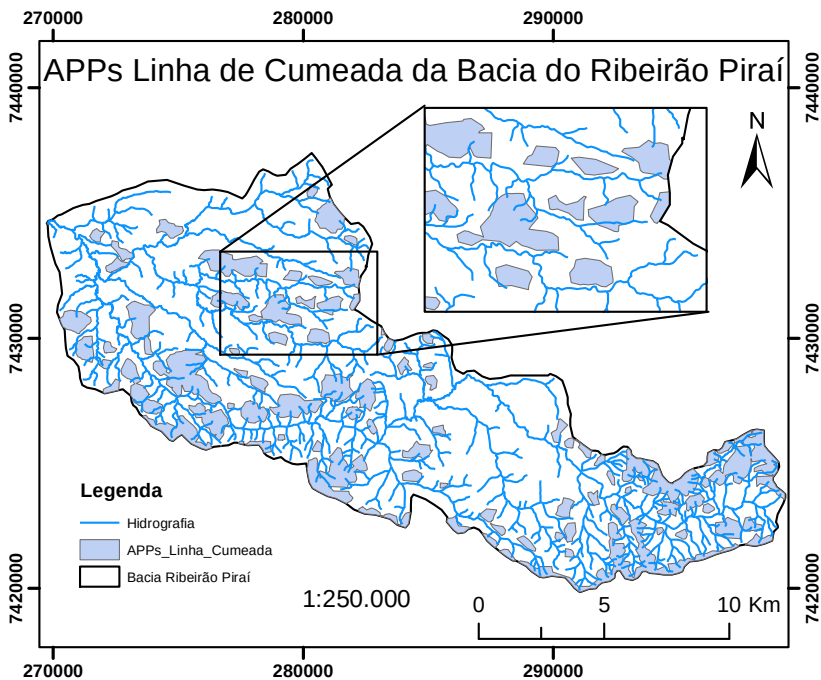


Figura 19. APPs de Linha de Cumeada na Bacia do Ribeirão Pirai.

Com o intuito de uma melhor visualização das áreas de preservação permanentes referentes a topos de morros, foi gerada a Figura 20 que explicita em modo 3D os polígonos que representam essas áreas.

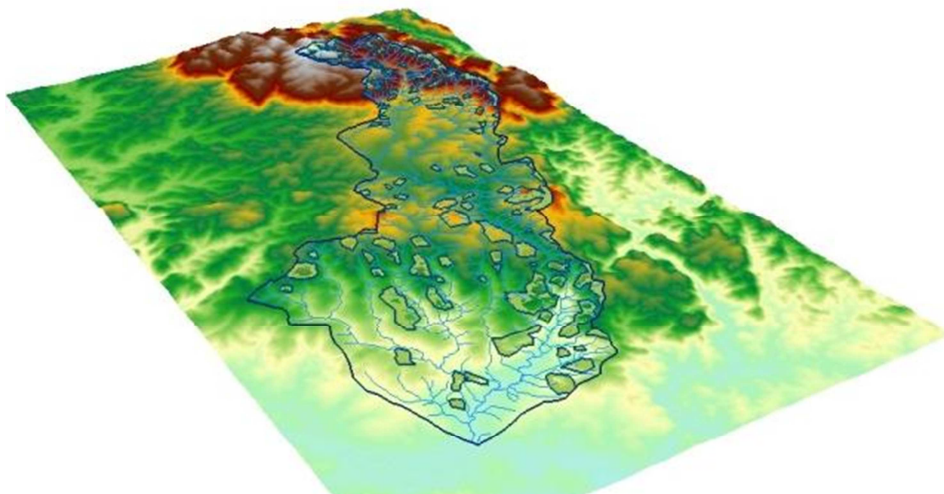


Figura 20. Visualização 3D dos polígonos de APPs de Topo de Morro.

6.1.5. Análise do conjunto de dados.

Tendo em vista a escala de trabalho (1:50.000), na área de estudo, não foram encontradas Áreas de Preservação Permanente de encostas com declividades superiores a 45° (100%), de acordo com o mapa de declividades gerado a área somente possui encostas que variam de 0 a 35°.

A bacia do Ribeirão Pirai apresenta uma área considerável (7.171,44 ha ou 32,82%) de Áreas de Preservação Permanente, se comparada a outros estudos, sendo que a maior parte delas é referente a áreas de linha de cumeeada e topos de morro. A Tabela 8 e a Figura 21 mostram a composição das APPs da Bacia do Ribeirão Pirai. O Mapa de Áreas de Preservação Permanente na escala 1:100.000 é apresentado no Apêndice A.

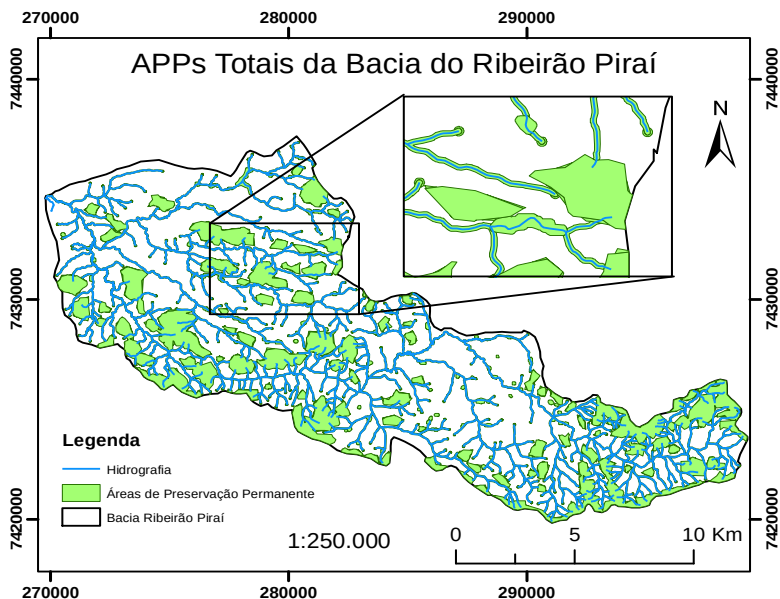


Figura 21. Áreas de Preservação Permanente da Bacia do Ribeirão Pirai.

Tabela 8. Composição das APPs da Bacia do Ribeirão Pirai

NOME	Área (ha)	Porcentagem em relação às APPs (%)	Porcentagem em relação à área da bacia (%)
APPs Nascentes	321,16	2,76	1,47
APPs Cursos d'água	2761,69	23,76	12,64
APPs de Lagos	319,96	2,75	1,46
APPs de Topo de Morro	3956,67	34,04	18,11
APPs de Linha de Cumeada	4263,01	36,68	19,51
TOTAL	11.622,49	100,00	-
Total sem sobreposição de categorias	7.171,44	-	32,82

6.2. MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

6.2.1. Classificação não supervisionada

O intuito de se realizar uma classificação não supervisionada foi obter agrupamentos em cinco classes que serviram como base para definir as áreas de treinamento para a classificação supervisionada. Foram obtidas as seguintes classes:

- Classe 1: Área Urbana e Solo Arenoso.
- Classe 2: Solo Avermelhado e Campo Arado.
- Classe 3: Agricultura, Pastagem, Campo Sujo.
- Classe 4: Vegetação Arbustiva, Capoeira.
- Classe 5: Florestas.

6.2.2. Classificação supervisionada

Posteriormente, na classificação supervisionada, foram criadas áreas de treinamento, com amostras distribuídas por toda a bacia, de forma a agregar os principais tipos de cobertura do solo. Na Tabela 9 estão detalhadas as áreas de treino separadas nas seguintes classes:

- Floresta: Inclui toda a vegetação arbórea e arbustiva, tanto natural quanto áreas plantadas, identificadas na imagem.
- Campo: Inclui os campos naturais e antrópicos, pastagens e áreas agrícolas.
- Queimada: Nesta categoria estão os focos de incêndios e queimadas que estavam ocorrendo na data do imageamento e que foram separadas em uma categoria especial.
- Solo exposto avermelhado: solo de cor avermelhada em áreas aradas.
- Solo arenoso e área urbana: Nesta categoria estão os solos ricos em areia (quartzo) e áreas impermeabilizadas

(concreto, asfalto, telhados) que possuem resposta espectral muito semelhante.

Os resultados dessa classificação podem ser vistos na Figura 22 e descritos na Tabela 9.

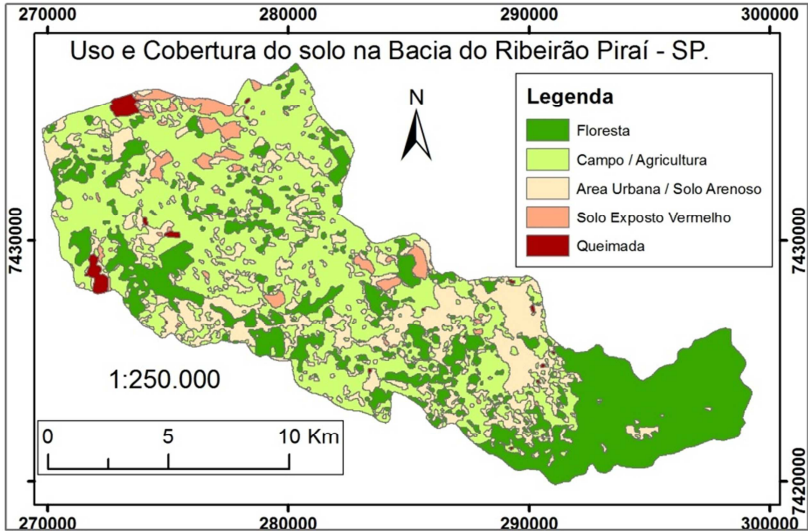


Figura 22. Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Ribeirão Pirai.

Tabela 9. Resultado da Classificação Supervisionada

Classe	Área (ha)	Porcentagem em relação à área da bacia (%)
Área Urbana / Solo Arenoso	4.457,46	20,40
Campo	9.809,88	44,91
Floresta	6.602,84	30,23
Queimada	216,93	0,99
Solo Exposto Vermelho	676,15	3,10

A medida de confiabilidade da classificação foi feita calculando-se o Índice de Concordância *Kappa* que resultou em uma precisão global de 99,39%, com coeficiente *Kappa* igual a 0,9998, considerado excelente.

6.2.3. Mapa de Índice de Vegetação.

O Índice de Vegetação resultou numa distribuição bimodal (Figura 23) em que na classe 1 estão os pixels representantes da categoria de não vegetação e na classe 2, os pixels da categoria de vegetação.

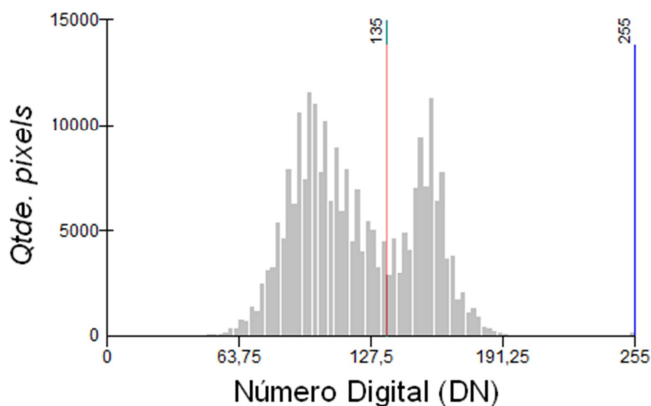


Figura 23. Histograma de distribuição dos pixels.

O mapa da Figura 24 representa o Índice de Vegetação para a Bacia do Ribeirão Pirai, descrito na Tabela 10.

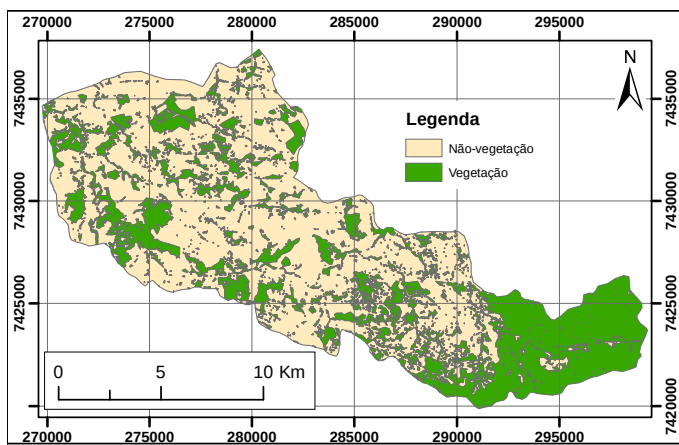


Figura 24. Índice de Vegetação da Bacia do Ribeirão Pirai.

Tabela 10. Resultado do Índice de Vegetação

Classes	Área (ha)	Porcentagem (%)
Não vegetação	14.361	65,75
Vegetação	7.482	34,25

6.3. INTERSECÇÃO DOS RESULTADOS

Ao finalizar os mapas de delimitação das Áreas de Preservação Permanente e os de Uso e Ocupação do Solo, foi realizado o cruzamento das informações para avaliar a situação atual das APPs.

6.3.1. Mapa De Índice De Vegetação X APPs.

Na Figura 25 observa-se o resultado do cruzamento do mapa do índice de vegetação com as APPs.

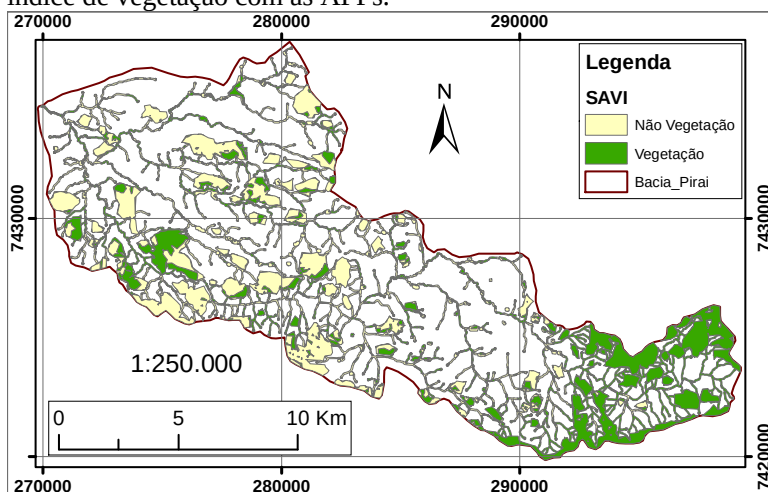


Figura 25. Índice de Vegetação e APPs.

A Tabela 11 mostra a relação entre as áreas de vegetação e não vegetação dentro das APPs.

Tabela 11. APPs x Vegetação.

Classe	Área (ha)	Porcentagem em relação à área da bacia.
APPs com vegetação	3.318,66	46,33
APPs sem vegetação	3.844,01	53,67

Pode se observar que mesmo considerando que as áreas de vegetação englobam tanto áreas de vegetação natural, como áreas de agricultura e pastagem, essa categoria ocorre em menor proporção que as áreas sem vegetação.

6.3.2. APPs totais x Uso do Solo.

A análise dos resultados apresentados na Tabela 12 mostra que o uso do solo predominante na bacia é a classe Floresta, com um total de 42,60% da área de APPs. A classe campo sujo também tem grande representatividade nas APPs, com 39,44%. Essa cobertura, dependendo do tipo de manejo que existir, pode proporcionar o recobrimento da superfície do solo, evitando que o solo fique totalmente exposto às intempéries. A classe Área Urbana/Solo Exposto representou 15,53% das APPs, enquanto que Queimada representou 0,96% e Solo Exposto Vermelho, 1,46%.

Por esses resultados podemos concluir que a Bacia do Ribeirão Pirai se trata de uma bacia rural, mas que apresenta grande parte de sua área recoberta por usos indevidos (solo exposto, área urbana, pastagens e queimadas), fato que merece atenção já que este tipo de uso pode contribuir para a qualidade e quantidade da água da bacia.

O Apêndice B apresenta este resultado na escala 1:100.000.

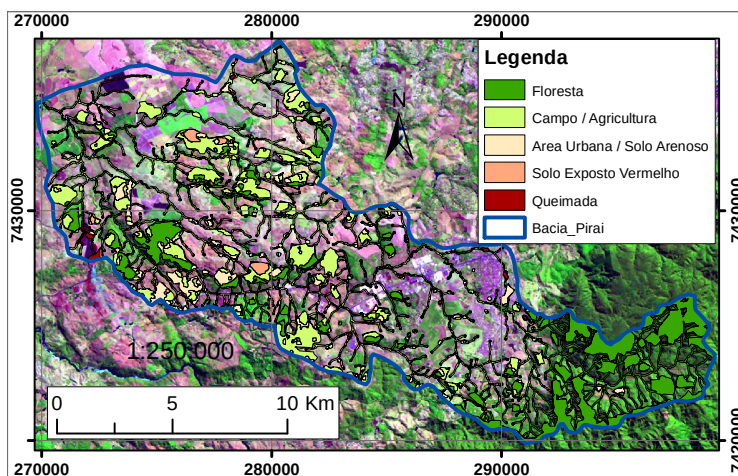


Figura 26. APPs totais e Uso do Solo na Bacia do Ribeirão Pirai.

Tabela 12. O Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Ribeirão Pirai.

Categoria de APP	Classe de Uso e Cobertura	Área (ha)	Porcentagem do total de APPs (%)	Porcentagem em relação à bacia (%).
Lagoas e Reservatórios	Área Urbana / Solo Arenoso	82,81	1,16	0,38
Lagoas e Reservatórios	Campo Sujo	175,59	2,46	0,80
Lagoas e Reservatórios	Floresta	34,55	0,48	0,16
Lagoas e Reservatórios	Queimada	22,14	0,31	0,10
Lagoas e Reservatórios	Solo Exposto Vermelho	1,74	0,02	0,01
Linha de Cumeada	Área Urbana / Solo Arenoso	567,60	7,95	2,60
Linha de Cumeada	Campo Sujo	1596,03	22,34	7,31
Linha de Cumeada	Floresta	1962,58	27,48	8,98
Linha de Cumeada	Queimada	21,62	0,30	0,10
Linha de Cumeada	Solo Exposto Vermelho	87,76	1,23	0,40
Cursos d'água	Área Urbana / Solo Arenoso	418,11	5,85	1,91
Cursos d'água	Campo Sujo	934,99	13,09	4,28
Cursos d'água	Floresta	939,06	13,15	4,30
Cursos d'água	Queimada	24,32	0,34	0,11
Cursos d'água	Solo Exposto Vermelho	10,88	0,15	0,05
Nascentes	Área Urbana / Solo Arenoso	13,30	0,19	0,06
Nascentes	Campo Sujo	38,17	0,53	0,17
Nascentes	Floresta	21,14	0,30	0,10
Nascentes	Queimada	0,29	0,00	0,00
Nascentes	Solo Exposto Vermelho	2,26	0,03	0,01
Topo de Morro	Área Urbana / Solo Arenoso	26,99	0,38	0,12
Topo de Morro	Campo Sujo	73,06	1,02	0,33
Topo de Morro	Floresta	84,80	1,19	0,39
Topo de Morro	Queimada	0,47	0,01	0,00
Topo de Morro	Solo Exposto Vermelho	2,45	0,03	0,01

7. CONCLUSÕES

O SIG se mostrou como uma excelente ferramenta na delimitação das APPs, por ser um processo automatizado e de grande precisão, eliminando possíveis erros e subjetividade que ocorrem no processo de delimitação manual e reduzindo custos econômicos e de tempo que demandam esses processos.

A importância de haver uma clara delimitação das Áreas de Preservação Permanentes encontra-se no fato dessas áreas constituírem locais de potencial risco natural (susceptibilidade a movimentos de massa, inundações e fragilidade aos processos erosivos) e pelo uso e ocupação do solo nessas áreas causam impactos não só localmente, mas afetam toda a bacia hidrográfica e os recursos para abastecimento hídrico.

Para a Bacia do Ribeirão Piraí, de acordo com a metodologia aplicada e a escala trabalhada (1:50.000), foram encontradas as seguintes categorias de APPs: ao longo de cursos d'água, ao redor de nascentes, ao redor de lagos e reservatórios, rurais e urbanos, em topo de morros e montanhas e em linhas de cumeada; essas categorias representaram ao todo 32,82% da área de estudo.

Para o ano de 2010, as classes de uso e ocupação do solo foram definidas como: florestas, campo, queimada, solo exposto avermelhado e área urbana/solo arenoso. Dessas classes, todas com exceção de florestas podem ser consideradas classes que representam um tipo de uso indevido do solo; a presença destas classes em Áreas de Preservação Permanente totalizou 57,41% das APPs. Este resultado evidencia o uso irregular dessas áreas, portanto propõe-se ações mitigatórias, conduzindo-as ao manejo sustentável e evitando assim prejuízos e perdas humanas, causados pelos iminentes, e cada vez mais frequentes, desastres naturais.

A identificação das áreas em que ocorrem impactos sobre as APPs demonstra o quanto é necessário o desenvolvimento de métodos eficientes para a correta e rápida delimitação das mesmas, de forma que haja o aproveitamento de áreas que não estejam sob restrições legais, reduzindo assim a pressão sobre elas.

No âmbito da Lei Estadual dos Mananciais (Lei nº 9.866/97), este trabalho vem contribuir como apoio às ações de planejamento e gestão por parte dos municípios que partilham os recursos hídricos dessa bacia.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVIM, A. T. B. **A contribuição do Comitê do Alto Tietê à gestão da Bacia Metropolitana, 1994 – 2001.** São Paulo, 2003. 549 p.

AMARAL, C. H. **Evolução do uso do solo e a suscetibilidade natural à erosão das Áreas de Preservação Permanente da Folha "Pariquera-Açu" (1:50.000, SG.23-V-A-IV-1), Vale do Ribeira, SP.** Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

ANDRADE, L. M. S.; ROMERO, M. A. B. **A importância das áreas ambientalmente protegidas nas cidades.** XI Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional – ANPUR. Salvador, maio de 2005.

BARROS, M.T.L. 2004. **Gerenciamento Integrado de Bacias Hidrográficas em Áreas Urbanas - Sistema de Suporte ao Gerenciamento da Água Urbana - Estudo de Caso: Rio Cabuçu de Baixo, Cidade de São Paulo.** São Paulo: Escola Politécnica da USP e CNPq, (www.phd.poli.usp.br/cabucu).
CBH. **Comitê de Bacias Hidrográficas.** Disponível em: <http://www.cbh.gov.br/GestaoComites.aspx>. Acesso em: 17/01/2011.

BEVILACQUA, D. **A construção de um risco.** Infocampus. UFSM, Santa Maria: 22/04/2010. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/infocampus/?p=480>. Acesso em: 25 de janeiro de 2011.

CAETANO, M.; MATA, F.; FREIRE, S. Accuracy assessment of the portuguese CORINE land cover map. In: MARÇAL, A. **Global developments in environmental earth observation from space.** Rotterdam: Millpress, 2006. Disponível em: <http://www.igeo.pt/gdr/publicacoes/s4.html>. Acesso em: 01 fev. 2011.

CÓDIGO FLORESTAL. LEI Nº 4.771, DE 15 DE SETEMBRO DE 1965. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm#art2a. Acesso em: 03/01/2011.

COMITÊS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS – CBH. **O que é um CBH?** Disponível em: < <http://www.cbh.gov.br/GestaoComites.aspx>>. Acesso em: 13/01/2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Resolução Nº 303, de 20 de Março De 2002.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2011.

DECRETO REGULAMENTAR nº 43.284, de 3 de julho de 1998. Regulamenta a APA dos municípios de Cabreúva e Jundiá.

ELIAS, M. 2005. **GIS and Remote Sensing for Natural Resource Survey and Management.** Global Scan Technologies. Dubai, 2005. Disponível em: <<http://www.gisdevelopment.net/application/environment/overview/me05128.htm>>. Acesso em: Janeiro de 2011.

EPIPHANIO, José C. N. *et al.* **Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão.** Brasília: Pesq. Agrop. Bras., 1996.

ERBERT, M., 2001. **Introdução ao Sensoriamento Remoto.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ERDAS. **Field Guide.** Atlanta: ERDAS, 1999. 672 p.

GONÇALVES, A.B. **Delimitação automática das Áreas de Preservação Permanente e identificação dos conflitos de uso do terra na sub-bacia hidrográfica do rio Camapuã/Brumado.** 2009. 57p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

HOTT, M.C.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E.E. **Método para determinação automática em topo de morros para o Estado de São Paulo, com base em geoprocessamento.** Campinas: Embrapa Monitoramento por satélite, 2004. 32p.

HUBNER, C. E.; DAL SANTO, M. A.; OLIVEIRA, F. H. A Utilização Do SIG para Identificação de Áreas de Risco Ambiental no Maciço Central do

Morro da Cruz - Florianópolis – SC. Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Centro de Ciências da Educação FAED. **V Simpósio de Geografia da UDESC**. Florianópolis: 2005.

HUETE, A. R. **A soil adjusted vegetation index (SAVI)**. Remote Sensing Environ. Vol. 25, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2000. **Atlas de saneamento**. IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Primeiros Dados do Censo IBGE 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/primeiros_dados_divulgados/index.php?uf=35>. Acesso em: 25/01/2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Roteiro Metodológico para Gestão da Área de Proteção Ambiental**, Edições IBAMA, Brasília, 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Tutorial de Geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE, 2002. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html>. Acesso em: 01 fev. 2011.

LILLESAND, T. M.; KIEFFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 5. Ed. New York: Wiley & Sons, 2004. 763 p.

L. J.; STERN, E.; ZANELATO, F. T.; VERONA, D. A.; ULIANA, M. R. B.; ONO, S.; DE BARROS, M. T. L.; CONRADO, G. N. **A Utilização de SIG no Planejamento e Gestão de Bacias Urbanas**. EPUSP, Depto. de Eng. Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2005.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

ONO, S. Sistema de Suporte a Decisão Para Gestão de Água Urbana – URBSSD. **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2008. 148p.

PARKINSON, J.; MILOGRANA, J.; CAMPOS, L. C.; CAMPOS, R. **Drenagem Urbana Sustentável no Brasil**. Relatório do Workshop em Goiânia – GO. Maio de 2003.

PELUZIO, T. M. O.; SANTOS, A. R.; FIEDLER, N. C. **Mapeamento de áreas de preservação permanente no ArcGIS 9.3**. 58 p. Alegre: CAUFES, 2010

PERROTTA, M.M. et al. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000**. São Paulo, CPRM (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil). 2005

QUARTAROLI, Carlos Fernando; BATISTELLA, Mateus. **Classificação Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto: Tutorial Básico**. Campinas - Sp: Embrapa, 2006.

RIBEIRO, C.A.A.S. *et al.* **Delimitação automática de áreas de preservação permanente em topos de morro e em linhas de cumeada: metodologia e estudo de caso**. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 5., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 2002.

ROSENDO, Jussara Dos Santos. **ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E MONITORAMENTO DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL NA BACIA DO RIO ARAGUARI - MG - UTILIZANDO DADOS DO SENSOR MODIS**. 2005. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005. Disponível em: <http://eco.ib.usp.br/lepac/bie5759/jussara_santos.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2011.

SANTOS, Anthony Allison Brandão et al. **Legislação Ambiental**. Sistemas de Cursos CREA/DF 04. Brasília 03 a 07 de maio de 2004.

SÃO PAULO, Estado de. Lei nº 9866/97 A nova Proteção de Recuperação dos Mananciais. Legislação do Estado de São Paulo. Disponível em: <www.daee.sp.gov.br>. Acesso em: Janeiro de 2011.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE. **Consórcio Pirai**. Indaiatuba – SP. Disponível em: <www.saae.sp.gov.br>. Acesso em: Janeiro de 2011.

SETH, S. M.; JAIN, S. K.; JAIN, M. K – s.d. **Remote Sensing and GIS application studies at national institute of hydrology**. National Institute of Hydrology. Disponível em: <<http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/water/surface/watsw0002.htm>>. Acesso: 19/01/2011.

SINGH, V. P. **Computer Models of Watershed Hydrology**. Water Resources Publications. Baton Rouge, LA, 1995.

SKOLE, D.; TUCKER, C. **Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988**. Science, Jun 2003, vol. 260, nº 5116, p 1905-1910.

SKORUPA, Ladislau Araújo. 2003. **Áreas de Preservação Permanente e Desenvolvimento Sustentável**. Departamento de Meio Ambiente da EMBRAPA. Disponível em: <http://cediap.ourinhos.unesp.br/material/apps_e_desenvolvimento_sustentavel_-_embrapa.pdf>. Acesso em 17/01/2011.

STERN, E.; ZANELATO, F. T.; VERONA, D. A.; ULIANA, M. R. B.; ONO, S.; DE BARROS, M. T. L.; CONRADO, G. N. **A Utilização de SIG no Planejamento e Gestão de Bacias Urbanas**. EPUSP, Depto. de Eng. Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Blog do Tucci – Gestão de Recursos Hídricos**. Disponível em: <<http://blog.rhama.net/category/gestao-de-recursos-hidricos/>>. Acesso em: 18/01/2011.

VICTORIA, D.C.; HOTT, M. C.; MIRANDA, E.E. Delimitação de Áreas de Preservação Permanente em topos de morros para o território brasileiro. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.2, n.2, p. 66-72, 2008.

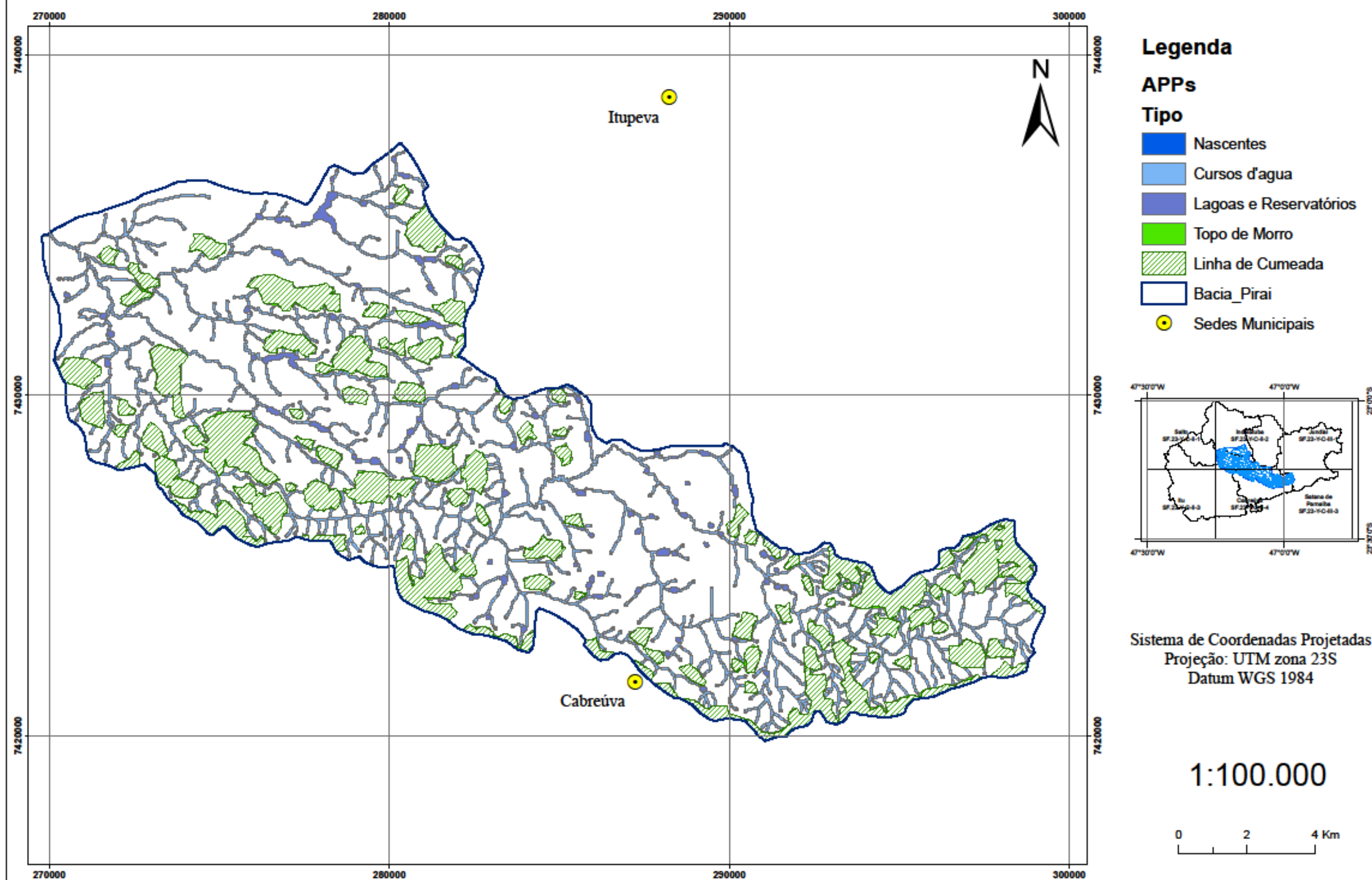
WAMMES, E. V. S.; UHLEIN, A.; CASTAGNARA, D. D.; FEIDEN, A.; PERINI, ZONIN, W. J.; SILVA, N. L. S. 2007. Importância ambiental das

áreas de preservação permanente e sua quantificação na microbacia hidrográfica da Sanga Mineira do município de Mercedes – PR. **Rev. Bras. de Agroecologia**. Vol. 2, No.2, p. 1408 – 1411.

WERTZ-KANOUNNIKOFF, S. A. **Forest policy enforcement at the Amazon frontier: the case of Mato Grosso, Brazil**. Tese de Doutorado. Interdisciplinary Institute for Environmental Economics, University of Heidelberg. Alemanha, 2005, 141 p.

ZUCCARI, M. L. 2005. **Sistema de Gestão Territorial da ABAG/RP**. Disponível em: <<http://www.abagr.p.cnpm.embrapa.br/areas/hidrografia.htm>>. Acesso em: 19/01/2011.

Mapa das Áreas de Preservação Permanente na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pirai



Mapa do Uso e Ocupação do Solo nas APPs na Bacia do Ribeirão Pirai - SP

