

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”
CAMPUS DE OURINHOS

**ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL NATURAL NA ÁREA DO ALTO
CURSO DO RIO PARDO (SP) ENTRE OS ANOS DE 1976 E 2011, POR MEIO DE
TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E PRODUTOS DE SENSORIAMENTO
REMOTO**

Camila Cristina Miranda Delatorre

Orientador: Prof. Dr. Edson Luis Pirolí

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Banca Examinadora para obtenção do título de
Bacharel em Geografia pela UNESP – Campus
Experimental de Ourinhos.

Ourinhos, São Paulo.
Junho/2012.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”
CAMPUS DE OURINHOS

**ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL NATURAL NA ÁREA DO ALTO
CURSO DO RIO PARDO (SP) ENTRE OS ANOS DE 1976 E 2011, POR MEIO DE
TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E PRODUTOS DE SENSORIAMENTO
REMOTO**

Camila Cristina Miranda Delatorre

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Banca Examinadora para obtenção do título de
Bacharel em Geografia pela UNESP – Campus
Experimental de Ourinhos.

Ourinhos, São Paulo
Junho/2012

Dedico este trabalho especialmente para a minha família e ao companheiro que sempre esteve presente independente do momento.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Edson Luis Piroli (orientador)

Prof^a. Dr^a. Maria Cristina Perusi

Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione

Ourinhos, 21 de Junho de 2012

“Jamais se desespere em meio as sombrias
aflições de sua vida, pois das nuvens mais negras
cai água límpida e fecunda.”

(Provérbio Chinês)

RESUMO

Considerando a atual situação da perda da cobertura vegetal natural, em função do avanço das fronteiras agropecuárias, tornam-se necessários estudos com abordagens que considerem recortes espaciais e temporais com o intuito de monitorar a avanço de desmatamentos. Portanto, esta Pesquisa tem por objetivo realizar uma avaliação do desmatamento da vegetação natural na área do alto curso do Rio Pardo, Centro-Oeste do Estado de São Paulo, para um período de 35 anos, de 1976 e 2011, com a finalidade de representar através de mapeamentos, a perda da cobertura vegetal natural no decorrer deste período, por meio de técnicas de Geoprocessamento e produtos de Sensoriamento Remoto. Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas imagens orbitais do satélite Landsat 5, sensor TM (imagens de 1985 e 2011) e Landsat 2, sensor MSS, (imagens de 1976), as quais foram processadas nos SIGs Idrisi Taiga e AcrGIS 9.3, de modo a comparar os mapeamentos para as distintas épocas e assim, analisar as alterações deste recurso natural. Para tanto, com tal análise, pode-se constatar uma significativa perda de cobertura vegetal natural entre os anos de 1976 e 2011, sendo que no intervalo de 10 anos de 1976 a 1985, primeiro período analisado, esta perda foi de aproximadamente 10,5%, enquanto para o intervalo de 26 anos de 1985 a 2011, foi de 32,4%.

Palavras-chave: análise espacial e temporal; vegetação natural; Geoprocessamento; Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

Considering the current situation of the loss of natural vegetation cover, due to the advancement of agribusiness frontiers, are essential studies with approaches that consider spatial and temporal cuts in order to monitor the advance of deforestation. Therefore, this research has the objective undertake an assessment of deforestation of the natural vegetation in the area of the upper course of the Rio Pardo, Midwestern state of Sao Paulo, for a period of approximately 35 years from 1976 to 2011, with the aim to represent through mappings, the loss of natural vegetation cover during this period, through techniques of GIS and Remote Sensing products. To develop this study, was used orbital images of the Landsat satellite 5 TM sensor (images of 1985 to 2011) and Landsat 2, MSS sensor, (images of 1976), which were processed in the GIS Idrisi Taiga and AcrGIS 9.3, in order to compare the mappings to the different times and thereby to analyze the changes in this natural resource. To this end, with such analysis could confirm a significant natural vegetation cover's loss between 1976 and 2011, which is in the range of 10 years from 1976 to 1985, first analysis period, this loss was approximately 10,5%, while for the range of 26 years from 1985 to 2011, was 32,4%.

Key-words: spatial and temporal analyze; natural vegetation; Geoprocessing; Remote Sensing.

Sumário

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	11
2 OBJETIVO.....	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos específicos	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Legislação ambiental brasileira	18
3.2 Geoprocessamento e Análise Ambiental	26
3.3 Sensoriamento Remoto	29
3.3.1 Natureza da Radiação Eletromagnética e sua interação com a superfície terrestre	34
3.3.2 Comportamento espectral da vegetação	40
3.3.3 Interpretação de imagens orbitais	44
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	48
4.1 Descrição Geral do alto curso do Rio Pardo	48
4.2 Materiais	61
4.3 Procedimentos metodológicos	63
4.3.1 Preparação da base de dados.....	63
4.3.1.1 Obtenção das imagens de satélite	63
4.3.1.2 Geração das composições falsa-cor	64
4.3.1.3 Geração da base vetorial	65
4.3.1.4 Georreferenciamento	66
4.3.2 Método de classificação das imagens	69
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
5.1 Análise do estado de conservação da vegetação natural no alto curso do Rio Pardo (1976 – 2011).....	70
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
7 BIBLIOGRAFIA.....	84

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema ilustrativo da definição de APP em relação ao relevo, de acordo com o Art. 3 ^a da Resolução CONAMA 303/02	24
Figura 2. Representação das montanhas e o morro com declividade igual ou inferior a 45 graus e a delimitação das APPs conforme o Art. 3 ^a da Resolução CONAMA 303 de 2002	24
Figura 3. Tropas da União do Exército segurando o balão <i>Intrepid</i> no campo de batalha de Fair Oaks em 1862, durante a guerra civil, Virginia, EUA	31
Figura 4. Campos elétrico (E) e magnético (M) de uma onda eletromagnética se propagando a uma dada direção (z)	35
Figura 5. O Espectro Eletromagnético	39
Figura 6: Espectro de reflectância de uma folha de vegetação verde e sadia	42
Figura 7: Curvas de absorção de energia luminosa (400 a 700) pelos pigmentos do cloroplasto (clorofila “a” e “b” e β -caroteno)	43
Figura 8. Recorte da composição falsa-cor 453 do alto curso do Rio Pardo (2011)	47
Figura 9. Mapa de Localização da área do alto curso do Rio Pardo - SP	49
Figura 10. Mapa simplificado da localização e limite dos municípios pertencentes à área do Alto Pardo (SP)	52
Figura 11. Mapa de localização das cidades em relação à área de estudo	53
Figura 12. Mapa da Rede de hidrográfica com destaque à área do alto curso do Rio Pardo (SP)	55
Figura 13. Ocupação urbana próxima aos córregos da microbacia do Ribeirão da Serra D’água, Rio Pardo, no município de Botucatu	56
Figura 14. Usina Hidrelétrica do Salto do Lobo (Itatinga)	57
Figura 15: Barragem da Usina Hidrelétrica do Salto do Lobo (Itatinga)	57
Figura 16. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), município de Botucatu	58
Figura 17. Cultura de eucalipto na Subacia do Rio Palmital, Rio Pardo, em Iaras (SP)	58
Figura 18. Gráfico das alterações na área ocupada por vegetação natural no Alto Pardo, de 1976 a 2011	71
Figura 19. Gráfico das alterações na área ocupada por vegetação natural no Alto Pardo, de 1976 a 2011	72
Figura 20. Hidrografia do Alto Pardo, porção Centro-oeste	73
Figura 21. Hidrografia do Alto Pardo, porção Leste	74

Figura 22. Mapa da cobertura vegetal natural da área do Alto Pardo, São Paulo (1976)	75
Figura 23. Mapa da cobertura vegetal natural da área do Alto Pardo, São Paulo (1985)	77
Figura 24. Mapa da cobertura vegetal natural da área do Alto Pardo, São Paulo (2011)	78
Figura 25. Mapa de síntese da perda de cobertura vegetal no Alto curso do Rio Pardo (SP), entre os anos de 1976 e 2011	80

Lista de Tabelas

Tabela 1. Série de satélites Landsat	33
Tabela 2. Elementos de Interpretação de imagens.....	45
Tabela 3. Principais culturas agrícolas do Médio Paranapanema em relação ao Estado de São Paulo.....	48
Tabela 4. Cartas Topográficas (IBGE) da área de estudo	61
Tabela 5. Imagens orbitais dos satélites Landsat 2 e 5	62
Tabela 6. Características das bandas do satélite Landsat 5 sensor <i>Thematic Mapper</i>	63
Tabela 7. Bandas espectrais do sensor <i>Multi spectral Scanner</i> (MMS) do Landsat 2.....	64
Tabela 8. Bandas espectrais do sensor <i>Thematic Mapper</i> (TM) do Landsat 5	64
Tabela 9. Erro Médio Quadrático para as cartas topográficas da área do Alto Pardo	67
Tabela 10. Imagens orbitais do satélite Landsat 5 (TM) e 2 (MSS) e o Erro Médio Quadrático para cada imagem.....	68
Tabela 11. Total da área coberta por vegetação natural em relação à área total do Alto Pardo para os anos de 1976, 1985 e 2011	71

Anexos

Anexo 1. Tabela das imagens do Lansat 5 - TM disponibilizadas pelo INPE	88
Anexo 2. Composição falsa-cor R(5)G(6)B(4), (1976).....	89
Anexo 3. Composição falsa-cor R(4)G(5)B(3), (1985).....	90
Anexo 4. Composição falsa-cor R(4)G(5)B(3), (2011).....	91
Anexo 5. Mapa da rede hidrográfica do Alto Pardo (SP)	92

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

As discussões acerca das questões ambientais tem ganhado grande repercussão nas últimas décadas, garantindo ao âmbito acadêmico, a função de desenvolver e pesquisar novos métodos de análise que atendam a esta crescente necessidade de entender holisticamente o meio-ambiente. Inserindo neste, o homem tanto como um agente que o transforma, como um figurante à mercê de sua dinâmica natural. E desta forma, por meio de pesquisas e propostas, buscar encontrar o equilíbrio entre a exploração dos recursos e a preservação destes em um contexto sustentável.

No Brasil, temos distintas realidades e padrões de crescimento e desenvolvimento das cidades. Contudo, tem se tornada expressiva a apropriação do espaço, seguindo um rumo orientado, senão, por interesses capitalistas, condicionados por padrões de estética e atualmente, ligados à venda de uma imagem natural, na qual, na maioria dos casos, somente uma pequena parcela da população tem acesso. Em contrapartida, as áreas de risco, cujos padrões de estética não são satisfatórios ao setor imobiliário, são destinadas às populações de baixa renda que por sua vez, não apresentam condições de escolha.

De acordo com Maricato (2001), esta exclusão social tem sua expressão definida na “segregação espacial e ambiental”, e como consequência disto, ocorre a ocupação irregular, principalmente em áreas de risco, como encostas, áreas de várzea ou lugares próximos à lixões. Isto tem ocasionado desastres e danos econômicos, sociais e calamitosamente danos aos seres humanos. Esta ocupação também pode contribuir para a ocorrência de problemas como erosões, poluição dos corpos hídricos e depredação de Áreas de Preservação Permanente.

Portanto, tendo em vista as alterações na configuração do uso do solo, com destaque à crescente perda de cobertura vegetal natural, tornam-se necessários estudos com abordagens que considerem recortes espaço-temporais com o intuito de monitorar o avanço ou regresso dos diversos usos. Neste ponto, o produto do Sensoriamento Remoto por ser uma fonte contínua de informação espacial e temporal, tem grande importância por possibilitar a detecção de mudanças na configuração do uso do solo.

Os dados de sensoriamento remoto orbital atendem à necessidade de informação em diversas escalas, representando um meio viável de monitoramento da superfície e vem servindo de fonte de informações para estudos e levantamentos geológicos, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, oceanógrafos, entre outros. (CRÓSTA, 1993; MIRANDA et al., 2002, apud HOTT, 2005, p.10).

A importância do uso de imagens de satélite, para Florenzano (2002), está no fato de que elas possibilitam o estudo e monitoramento tanto de fenômenos naturais dinâmicos do meio ambiente (erosão do solo, inundações, etc) como fenômenos antrópicos, como no caso os desmatamentos. Estes fenômenos impressos na paisagem são registrados nas imagens produtos do sensoriamento remoto, tornando possível, identificar, calcular e monitorar o crescimento de áreas desmatadas, áreas impermeabilizadas, assim como identificar áreas submetidas a processos de erosão.

Segundo Guimarães (1999), os aplicativos e técnicas de Geoprocessamento complementam os produtos de sensoriamento remoto, constituindo ferramentas importantes para a geração, manipulação, análise e integração de informações espaciais, sobretudo relativas ao meio ambiente, podendo, desta forma, subsidiar o processo de tomada de decisão e orientação de políticas públicas.

Assim sendo, as técnicas de Geoprocessamento juntamente com os produtos orbitais, constituem-se em uma importante fonte de informação, bem como da produção de novas informações. Quanto a isto, destacam-se os mapeamentos de áreas de risco e de áreas propícias ou não para determinados cultivares, etapa esta, indispensável, por exemplo, ao setor agrícola.

Para o estudo do objeto desta pesquisa, o uso destas Geotecnologias se torna imprescindível na avaliação das mudanças na cobertura vegetal natural do alto curso do Rio Pardo, área esta, inserida na Bacia do Rio Pardo. Esta Bacia Hidrográfica, localizada na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo, apresenta grande importância socioeconômica e ambiental para a região em questão, garantindo aos Municípios que estão sobre ela, à captação de água tanto para uso doméstico como para o uso agroindustrial.

Quanto à importância ambiental desta bacia, esta se apresenta em sua densa rede hidrográfica, como um habitat para diversas espécies da fauna e flora, com destaque as Áreas de Preservação Permanente, nas quais “asseguradas” pelo Código Florestal (Lei 4.771/65) e pelas Resoluções CONAMA, representam, quanto às faixas marginais aos corpos hídricos, corredores ecológicos que garantem às espécies uma maior variabilidade genética, contribuindo assim para a biodiversidade da fauna e flora, além da função ambiental de preservar os recursos hídricos, proteger o solo, a paisagem e garantir a estabilidade geológica e o bem estar das populações humanas. (Art. 2º do CÓDIGO FLORESTAL, da Lei 4.771/65, revogado pelo art. 18 da Lei nº 6.938/81 e este pelo art. 60 da Lei nº 9.985/00).

A bacia hidrográfica como unidade de gestão e planejamento, tende a atender tanto as dimensões naturais quanto as sociais e econômicas, constituindo-se, como um meio dinâmico de interações entre os componentes naturais como solo, água, flora, fauna e o componente antrópico. Esta abordagem sistêmica estrutura-se na importância que cada componente da bacia hidrográfica apresenta em relação aos cursos hídricos, uma vez que estes constituem indicadores das condições de equilíbrio do ecossistema.

De acordo com Valente (2005, p. 25 – 26),

A bacia hidrográfica é delimitada no espaço geográfico pelo divisor d'águas, representado pela linha que une pontos de cotas mais elevadas, fazendo com que a água da chuva, ao atingir a superfície do solo, tenha seu destino dirigido no sentido de um ou outro córrego ou rio. [...] É muito importante ressaltar que qualquer ponto da superfície terrestre está sempre fazendo parte de uma determinada bacia hidrográfica. Ela é uma unidade natural e com seus limites fixos pela ação de fenômenos também naturais.

Por conseguinte, tornam-se essenciais, estudos que realizem levantamentos das condições ambientais, de modo a analisar a situação atual, bem como ter o objetivo de contribuir com propostas, sejam para minimizar os impactos ou mesmo prevenir a ocorrência de problemas com a ocupação de certas áreas. Ou seja, colaborar com a geração de base de dados cartográficos, é essencial para as questões de planejamento e gerenciamento ambiental. Ademais, as informações geradas podem subsidiar o poder público para o monitoramento da área, assim como a aplicação de uma fiscalização mais efetiva para a região.

Assim sendo, para a análise da mudança na cobertura natural na área do alto curso do Rio Pardo, o ano de 1976 representa um marco de grande interesse histórico, pois em 1975, iniciou-se a política de incentivo do Programa Nacional do Alcool (Proálcool). Outro ponto a destacar, refere-se à efetividade legislativa do Código Florestal e suas modificações ao longo do tempo, assim como das Resoluções do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), 302/02 E 303/02, e as suas intervenções na perda da cobertura vegetal natural.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem por objetivo realizar uma avaliação do desmatamento da vegetação natural na área do alto curso do Rio Pardo, porção Centro-Oeste do Estado de São Paulo, para um período de aproximadamente 35 anos, entre 1976

e 2011, com a finalidade de representar através de mapeamentos do uso da terra, as mudanças na cobertura vegetal natural no decorrer deste período, por meio de técnicas de Geoprocessamento e produtos de Sensoriamento Remoto.

2.2 Objetivos específicos

1. Mapear a cobertura vegetal natural para a área supracitada para os anos de 1976, 1985 e 2011 como forma de contribuição com a criação de um banco de dados para a área do alto curso do Rio Pardo;
2. Avaliar se houve alteração significativa na cobertura vegetal natural no período de estudo.
3. Abordar e demonstrar a eficácia do emprego das técnicas de Geoprocessamento e produtos orbitais, ressaltando a importância destes para a análise espacial e, por conseguinte, para o estudo Geográfico;
4. Realizar uma discussão sobre as legislações ambientais que atentam aos aspectos da vegetação natural;
5. Avaliar a efetividade legislativa do Código Florestal (Lei 4.771/65) e suas modificações ao longo do tempo, assim como da Resolução do CONAMA, 303/02, em suas intervenções no processo de desmatamento da área de estudo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Nos primórdios da apropriação do meio natural pelo homem, apesar da precariedade ou a pobreza da técnica empregada neste processo, as transformações do meio já despontavam para um futuro de crescente degradação, e na medida em que os avanços foram ocorrendo, assim com as técnicas da agricultura foi se aperfeiçoando, esta realidade tornou-se iminente para o meio natural.

No Brasil, durante o período do pós-Segunda Guerra Mundial, iniciou-se um processo de “modernização” da produção agropecuária, com a transformação da base técnica pela implantação de maquinários modernos e fertilizantes provenientes de importações. Este processo se intensificou durante a década de 1960 ao passo em que houve um aumento na demanda por esses bens industriais pelo setor da agricultura.

Entretanto, conforme Graziano e Kageyama (1996), somente a partir da década de 1970 é que se pode afirmar que este processo de “modernização” da agricultura se efetivou, em função de uma maior integração entre indústria e agricultura, baseada em uma “dupla dependência” destas.

Cabendo, portanto, ao setor industrial o comando da direção, formas e ritmos das transformações da base técnica do setor agrícola, o que corresponde dizer, de acordo com Muller (1989), apud Barbosa, (2007, p.13), que tal situação constituiu-se na formação do padrão agrário moderno, com a formação dos complexos agroindustriais (CAIs). Portanto, com a constituição destes complexos, “a agricultura se vincula com a indústria de máquinas e insumos, que tem na agricultura seu mercado, e com a indústria processadora, que compra suas matérias-primas agrícolas.”

Logo, esta maior intensificação e “modernização” da agroindústria tornaram muitas regiões, dantes incultiváveis, propícias a muitos cultivos, tanto pelo uso de maquinários modernos como por melhoramentos genéticos dos cultivares. Este processo de melhoramento na agricultura, aliado ao incentivo governamental gerou uma crescente demanda por novas terras para a agricultura, exemplo disto é o uso intensivo do solo pelo setor canavieiro.

Conforme afirma Santos (2004), ainda na década de 1950, com a crescente propagação da cana por quase todo o território brasileiro, Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo já despontavam com uma significativa produção do cultivar, representando 47,48% da quantidade produzida, em relação à produção total do país.

Com a instauração do Próalcool, criado em novembro de 1975 pelo decreto nº 76.593, como tentativa para contornar os problemas energéticos advindos das crises do petróleo na década de 1970, alterou-se significativamente a geografia do interior paulista, com o ingresso maciço de cultivares de cana-de-açúcar. (BERNARDES e ALMEIDA, 1997, apud SANTOS, 2004, p.49) Este Programa teve como objetivo inserir o etanol na matriz energética brasileira como alternativa à dependência no uso do petróleo, na safra de 2007/08, o Brasil produziu cerca de 30 milhões de toneladas de açúcar e 22 milhões de litros de etanol (UNICA, 2008) principalmente para atender a demanda interna de biocombustível.

No Estado de São Paulo, este avanço da fronteira agrícola da cana, deu-se em direção ao vale do Paranapanema e para as regiões de Araçatuba e Bauru no oeste

paulista, condicionado não pelo abandono dos *belts*¹ históricos do Nordeste e sim, pelas crescentes contribuições da ciência, técnica e informação no Estado. Sendo que, de acordo com Santos (2004, p.127) “as plantações do Estado de São Paulo passaram de 621.000 hectares em 1975 para 1.008.184 hectares em 1980 (aumento de 1,6 vez), e para 2.493.180 hectares em 1994 (2,5 vezes).”

Esta expansão da fronteira agrícola, com a crescente mecanização da produção, deu-se, sobretudo, em função dos interesses da Agroindústria e seu mercado externo, os quais passaram a estabelecer as metas de produção, preços, além do desenvolvimento de pesquisas voltadas ao melhoramento da produção.

Sobre a expansão da agropecuária em detrimento da cobertura vegetal natural, Sparovek et al. (2010, p.184) afirma que:

A agropecuária ocupa 275 Mha (32% do Brasil), sendo a maior parte utilizada com pastagens (211 Mha). Os números médios agregados para o Brasil escondem importantes variações. Na região Sul a agropecuária ocupa 69% e no Bioma Mata-Atlântica, 72%. O mesmo ocorre com a VN que representa 63% do território brasileiro, mas varia de 33% na região Sul até 80% na região Norte, de apenas 28% na Mata-Atlântica até 77% na Amazônia, e 56% do Cerrado. A situação de Unidades de Conservação ou Terras Indígenas (UC/TI) é ainda mais assimétrica, indo da quase inexistência nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, até 38% na região Norte. Nas regiões onde a ocupação das terras é mais consolidada (Sul, Sudeste, Centro Oeste, Nordeste) a proporção de UC/TI em relação ao total de vegetação natural é muito pequena, ou seja, a maior parte desse tipo de vegetação está em terras privadas.

Se considerarmos apenas o valor total pelas vastas dimensões do país, os dados da Vegetação Natural (VN), 63% do território, apresenta-se convidativamente como um país densamente coberto por distintas vegetações, variando conforme a região, todavia, esta variação não ocorre somente nos espécimes vegetativos, mas principalmente, na distribuição dos desmatamentos. E conforme os dados citados anteriormente, a situação de intenso desmatamento, concentra-se nas manchas de Mata Atlântica, com 28% ainda relativamente preservadas, na Região Sul com 33% e no Cerrado com 56%, estatísticas estas, cujo declínio é inversamente proporcional ao avanço das fronteiras agrícolas. E ainda, conforme o autor, se a maior parte da vegetação natural – “nas regiões onde a ocupação das terras é mais consolidada” – encontra-se em terras privadas, cabe ao poder público, a fiscalização destas com a efetiva aplicação da legislação a que compete estas áreas, o Código Florestal. (SPAROVEK et al., 2010, p.184)

¹ O termo se refere ao “cinturão” da cana-de-açúcar formado pela concentração de agroindústrias canavieira.

Contudo, no contexto nacional, a vegetação natural vem sendo intensamente impactada sem que haja um planejamento ambiental nos conformes com a legislação ambiental brasileira, de modo que ao longo das últimas décadas, sofreu grande redução como consequência do avanço da agricultura através dos sistemas de monocultura, tal como a canaveira, além da ocupação do solo destinada à pecuária.

Por **vegetação natural**, entende-se:

[...] áreas que preservam boa parte de sua cobertura vegetal natural, seja ela floresta, caatinga, pampa ou outra fisionomia. Estas áreas podem ter utilização produtiva como pastagens, extrativismo, podem estar em processo de regeneração ou ocupadas com atividades agrícolas pouco intensivas nas quais não houve a remoção completa da cobertura vegetal original em grandes extensões. Elas possuem elevado valor ecológico porque preservam a biodiversidade da flora, e são ambientes favoráveis para a preservação da fauna e outras formas de vida. São importantes também no contexto de diversos serviços ambientais como a preservação dos recursos hídricos, do ciclo hidrológico, e ajudam na assimilação do CO₂ emitido pelos combustíveis fósseis, entre outros. (SPAROVEK et al., 2010, p.184)

A ausência dessa vegetação pode acarretar diversos tipos de impactos como erosão, esgotamento do solo, contaminação dos rios por agrotóxico procedentes de propriedades agrícolas e redução da biodiversidade.

E ao considerarmos a atual situação do avanço das fronteiras agropecuárias em detrimento da cobertura vegetal natural, estudos pela unidade das bacias hidrográficas, desde as mais simples às mais complexas, tornam-se essenciais para as questões de planejamento e para a compreensão das dinâmicas de uso e ocupação do solo nos municípios, uma vez que grande parte destes está inserida em uma bacia, ou melhor, em um rio que pode auxiliar no desenvolvimento deste município, conforme as práticas adotadas pelo mesmo em relação ao gerenciamento da bacia hidrográfica.

Estes estudos e projetos levantados com base em bacias hidrográficas tem contribuído sobremaneira, na compreensão dos mecanismos e na manutenção dos sistemas que fazem parte deste recorte Geográfico, uma vez que tal ecossistema é fundamental para a manutenção do ciclo hidrológico e consequentemente para a vida dos seres vivos.

Neste ponto, uma bacia hidrográfica necessita de estudos de cunho multidisciplinar, aliados ao uso de Geotecnologias, as quais podem contribuir como uma fonte de dados primordial para a produção científica destinada às mitigações de impactos que podem acarretar em modificações no ecossistema, prejudicando tanto quem depende

de forma direta como indiretamente deste.

E tendo por contextualizado a problemática da situação da relação homem/natureza e as consequências desta relação para o meio ambiente, estes conflitos ambientais, foram mais que suficientes para suscitar a proposta de análise dos desmatamentos na área do alto curso do Rio Pardo em um recorte temporal atento a um fato histórico, a criação do Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL), o qual pode ter tido grande influência na configuração atual de uso e ocupação do solo na área de estudo, além de fatores como o processo de “modernização” da agricultura, os incentivos governamentais e, por conseguinte, a intensificação do avanço da fronteira agrícola no interior paulista nas últimas décadas.

3.1 Legislação Ambiental Brasileira

A situação percebida pela comunidade científica internacional, de que as atividades antrópicas estavam ocasionando efeitos na natureza, alterando e interferindo diretamente em seu comportamento, gerou uma pressão por parte dessa comunidade sobre os governos, para que estes estabelecessem um conjunto de princípios e regras que orientasse e disciplinasse a exploração dos recursos naturais. Tal requisição levou a Organização das Nações Unidas a realizar um encontro em Estocolmo, na Suécia, em junho de 1972, para discutir o rumo a ser tomado para as questões ambientais globais.

Resultado disto foi a Declaração de Estocolmo. No total foram estabelecidos 23 princípios, contudo, o simples fato de estabelecer princípios não fora o suficiente para sanar a complexidade ambiental mundial, ao passo que era fundamental, modificar tanto o modo de produção como o modelo atual de consumo da sociedade. Sendo, deste modo, imprescindível, que estes princípios fossem revisados e atualizados, além de que fossem seguidos de uma agenda que estabelecesse um conjunto de ações concretas, capazes de tornar realidade os princípios e fornecer os meios para sua consecução.

Vinte anos após a elaboração dos princípios da Declaração de Estocolmo, estes são revistos em uma Conferência Internacional realizada no Brasil, no Rio de Janeiro. Esta revisão ficou conhecida como Rio-92 e a agenda a qual acompanhou esta revisão, como Agenda 21.

[...] reafirmando aqueles estabelecidos na declaração de Estocolmo e, com vistas a *estabelecer uma nova e justa parceria global por meio do estabelecimento de novos níveis de cooperação entre os Estados*. Os

setores-chave da sociedade e os indivíduos proclamam 27 princípios[...] (FINK, 2005 p. 738)

Contudo, assim como apontado por Ribeiro (1999), a Rio-92 não discutiu de forma minuciosa as causas estruturais dos problemas ambientais, ou seja, o modelo de desenvolvimento econômico adotado pelos países.

Após a Conferência do Rio de Janeiro, em 2002, ocorre em Johannesburgo, África do Sul, o encontro internacional intitulado Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, no qual foram discutidas propostas como a do pelo Prof. Dr. José Goldemberg, o qual defendia que pelo menos 10% da matriz energética dos países fosse de fontes renováveis e a do Prof. Dr. Paulo Nogueira Neto que “recomendou maior proteção às florestas secundárias, ou seja as matas em estágio de regeneração”, destacando a importância destas na taxa de fixação de carbono, portanto, como contribuição para a redução da poluição atmosférica.²

O uso do solo, seja por finalidades econômicas ou ecológicas, está à mercê da dinâmica do capital. O homem usufrui dos recursos naturais de acordo com suas necessidades, no entanto, em decorrência desta dinâmica, o ambiente natural se torna um alvo frágil e dependente, que se mantém em função desses interesses econômicos.

Para tanto, as leis são meios de garantir o equilíbrio ecológico, garantindo às gerações futuras, sanar o necessário como também garantir maior qualidade de vida para as mesmas. Como exemplo destas leis, podem-se citar a Constituição Federal (CRFB/88), o Código Florestal (Lei 4.771/65), Resoluções Federais do CONAMA 302/02 e 303/02, Medida Provisória (MP 2.166-67/01), Lei 11.428/06 e a Lei n. 9.433/97 do Sistema Nacional dos Recursos Hídricos.

No Brasil, o grande marco para as questões direcionadas para a preservação dos recursos naturais foi em 1934 com a criação do Código Florestal, o qual, posteriormente, com a Lei 4.771 de 1965, foi revogado. Com esta Lei, instituiu-se o Código Florestal Brasileiro de 1965, trazendo assim, novos critérios de proteção, definindo as áreas que inadmitiam a utilização, bem como um direcionamento para o uso dos recursos em geral.

Art. 1º do Código Florestal, Lei 4.771/65

As florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação, reconhecidas de utilidade às terras que revestem, são bens de interesse comum a todos os habitantes do País, exercendo-se os direitos de

² PHILIPPI Jr. Arlindo; ROMÉRO Marcelo de Andrade & BRUNA Gilda Collet editores. Curso de Gestão ambiental. – Barueri, SP: Manole, 2004. p. 447-454.

propriedade, com as limitações que a legislação em geral e especialmente esta Lei estabelecem.

Em seguida, em 1967, foram criados órgãos de apoio como, por exemplo, o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF, futuro SEMA³ e posteriormente, IBAMA⁴).

No ano de 1981, entra em vigência a Lei da Política Pública Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81), com esta lei são apresentadas regras para compatibilizar o desenvolvimento socioeconômico com a qualidade ambiental, neste ponto, cita-se o tão aspirado “desenvolvimento sustentável” e então, a partir desta lei, em 1983 é criado o CONAMA, o qual trouxe diversas resoluções que tinham como intenção, estabelecer certos padrões de orientação para obter uma melhor qualidade ambiental.

Quanto à Constituição Federal, no ano de 1988 (CRFB/88), com a nova reformulação desta, dedicou-se um capítulo exclusivo para a questão ambiental, representando assim, um grande avanço quanto ao Direito brasileiro, reconhecendo no Art. 225 que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”⁵

Portanto, o art. 225 da Constituição Federal - sobre o Direito Ambiental - estabelece algumas medidas e condutas a serem adotadas pelo Poder Público com o intuito de garantir a efetividade do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, tanto para as presentes como para as futuras gerações, ou seja, o Direito Ambiental cuida dos direitos da coletividade como um todo. (COPOLA, 2008, p.20)

Em 1989, outro marco historicamente importante, teve como efeito a “revisão geral dos dispositivos da Lei nº 6.938/81”, na qual alterou “todos os demais artigos que não receberam nova redação, determinou a substituição do termo SEMA por IBAMA, e em todos os dispositivos em que isso fosse necessário, indicando em interpretação autêntica que as Reservas/Estações Ecológicas permaneceram intactas em nosso sistema jurídico”. (MORAES, 2009, p. 37).

³ Secretaria Especial do Meio Ambiente

⁴ Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

⁵ Brasil. **Constituição da República Federativa do Brasil** – 1988. Brasília (DF): Senado Federal; 1988.

Em 1997 instituiu-se a Lei n. 9.433, que trouxe ao Brasil uma maior organização do sistema de gestão por unidades de bacia hidrográfica em todo o território nacional, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos e criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, todavia, ao se considerar esse recorte de gestão, algumas dificuldades surgem pelo fato da necessidade de uma gestão integrada entre a administração pública, instituições voltadas à atividade agrícola, órgãos de saneamento e de gestão ambiental, cada qual com uma visão diferenciada e rebuscada nos interesses de cada setor, sejam eles do ambiental, agrícola, urbano ou industrial.

Segundo a Lei n. 9.433/97 os instrumentos legais visam garantir a disponibilidade dos recursos hídricos às gerações futuras, considerando a água como um bem de domínio público, de valor econômico, sendo prioritário o abastecimento humano e a dessedentação de animais, além de proporcionar o uso múltiplo das águas, garantindo também a disponibilidade hídrica para a manutenção dos ecossistemas.

Todavia, esta situação de equilíbrio pretendida pela lei em muitos casos não se efetua, principalmente quando há um confronto de interesses, sejam eles políticos e/ou econômicos.

No ano de 1998, é sancionada a Lei Federal nº 9.605 (Lei de Crimes Ambientais), que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.

Por crime ambiental, de acordo com Copola (2008, p.23), entende-se que:

[...] é toda conduta prevista como ato ilícito, e que provoca resultado danoso previsto na lei dos crimes ambientais ou outra norma esparsa. [...] porque para a existência do crime, o ato típico deve ser, também, antijurídico.

E em 2001 entra em vigor a Medida Provisória 2.166-67/01, na qual, conforme Moraes (2009), somente “alterou algo existente”, o Código Florestal. Em que:

Altera os arts. 1º, 4º, 14, 16 e 44, e acresce dispositivos à Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o Código Florestal, bem como altera o art. 10 da Lei nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996, que dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural - ITR, e dá outras providências.

Em 2006, é sancionada a Lei 11.428/06 em 22 de Dezembro, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. Segundo o Art. 2º desta lei, das definições, objetivos e princípios do Regime Jurídico do Bioma:

Somente os remanescentes de vegetação nativa no estágio primário e nos estágios secundário inicial, médio e avançado de regeneração na área de abrangência definida no caput deste artigo terão seu uso e conservação regulados por esta Lei.

Conforme as delimitações estabelecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004), consideram-se do Bioma em questão, Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, ou Mata das Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; e Floresta Estacional Decidual, assim como os manguezais, as vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encraves florestais do Nordeste.

Referente à hierarquização entre a Constituição e as demais normas infraconstitucionais, vigora o princípio da supremacia da Constituição. Reservando um patamar de superioridade às normas Constitucionais em relação às demais leis, servindo de fundamento de validade para estas. Assim, todas as normas devem obedecer às ordens e princípios constitucionais, sob pena de incidirem no vício de inconstitucionalidade formal.

As Resoluções são atos administrativos normativos determinados por órgãos colegiados, no entanto, não podem contrariar os regulamentos e os regimentos, somente explicar seus comandos, facilitando a sua aplicação, ou seja, ir além dos ditames da lei incorrerá em ilegalidade.

Portanto, outro ponto se refere à divergência e conflitos encontrados nos próprios textos do Código Florestal e das posteriores resoluções criadas, como a Resolução nº 303/02. Segundo Moraes (2009), o conflito das Resoluções CONAMA com o Código Florestal, apresenta-se como uma ilegalidade, ou seja, há uma inconstitucionalidade formal, por invasão do campo de atuação, conforme Art. 59 da Constituição Federal.

São estas definições, citadas na sequência, muito além dos conceitos geológicos e geomorfológicos, que a Resolução 303/02 faz uso, violando assim, os princípios da lei ordinária (Código Florestal), com destaque à declividade atribuída a morro, de aproximadamente 17°, ou seja, três vezes inferior à declividade definida na lei ordinária.

Resolução CONAMA 303, de 20 de Março 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 declividades 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 planícies ou superfícies de lençol d'água adjacentes ou, nos relevos ondulados, pela cota da depressão mais baixa ao seu redor;"

Ademais, de acordo com o Art. 3º desta Resolução, a Área de Preservação Permanente é a área situada, em relação ao relevo:

"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;"

Conforme a definição de Área de Preservação Permanente, em relação ao relevo, definida na Resolução 303/02, pode-se observar nas Figuras 1 e 2, a delimitação de uma "área que não possui qualquer critério técnico-científico, exigido pelo vocábulo, sem qualquer correspondência com aspectos da topologia e da geologia. Ao invés disso, "*criou metodologia*" que excede em muito o significado de 'topo'." (MORAES, 2009, p. 75) Portanto, esta resolução foi muito além de uma regulamentação, uma vez que criou um conceito jurídico de topo de morro "conflitante com o conceito etimológico, lógico e científico desse conceito pela topografia e pela geologia." (MORAES, 2009, p. 76) Além de que, o art. 2º do Código Florestal não contempla esta metodologia criada pela Resolução em sua tentativa de regulamentação, o que de fato, desconsidera a lógica da lei ordinária.

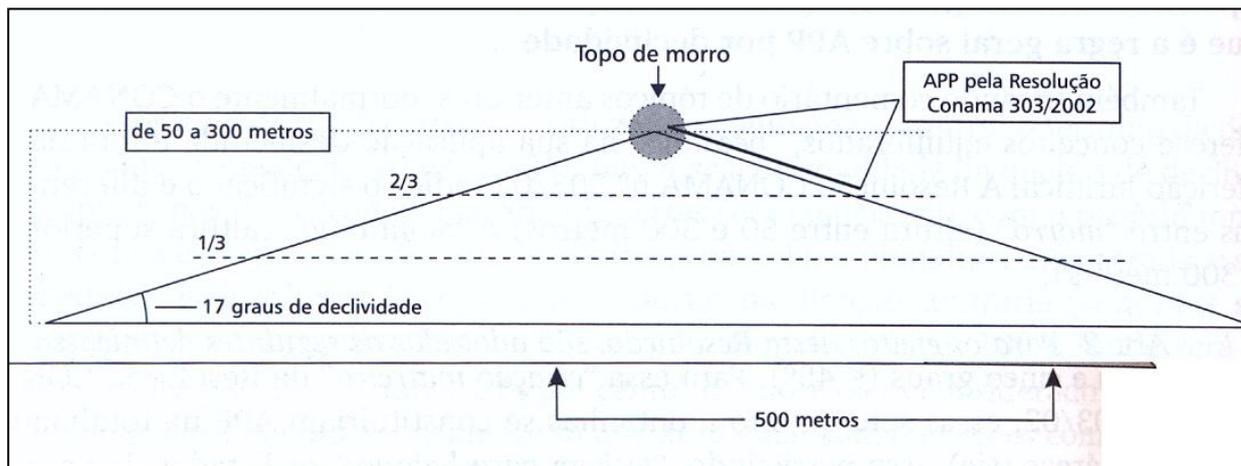


Figura 1. Esquema ilustrativo da definição de APP em relação ao relevo, de acordo com o Art. 3ª da Resolução CONAMA 303/02.
Fonte: Moraes (2009).

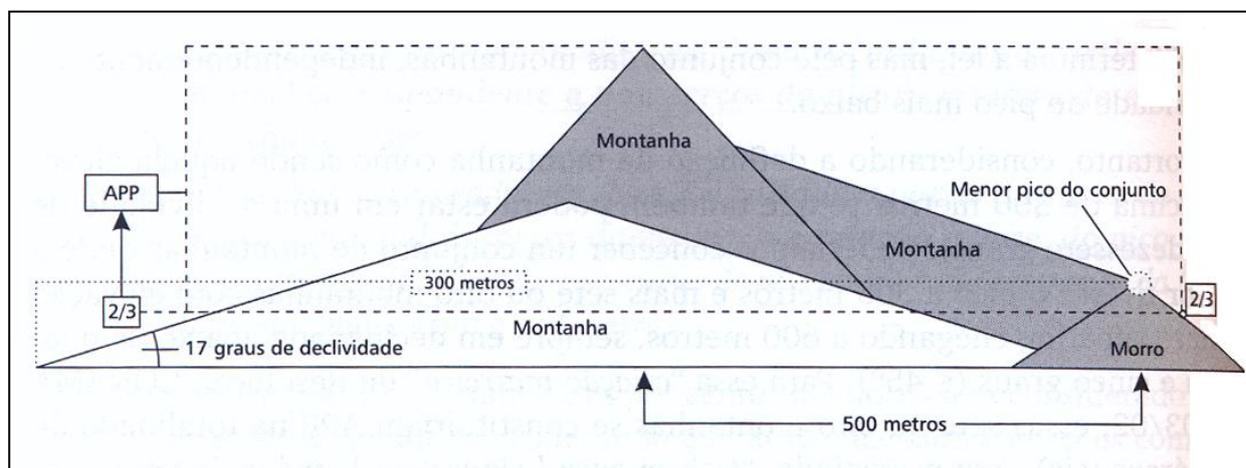


Figura 2. Representação das montanhas e o morro com declividade igual ou inferior a 45 graus e a delimitação das APPs conforme o Art. 3ª da Resolução CONAMA 303 de 2002.
Fonte: Moraes (2009).

Ou seja, para Moraes (2009), a aplicabilidade desta Resolução tornou-se inviável, conflituosa e de certa forma, ilegal. Ademais, segundo o referido autor, esta Resolução configura-se como sendo inaplicável, pois não há um equilíbrio entre o econômico e o ambiental, pois tornaria muitas unidades da federação economicamente inviáveis, como é o caso citado por ele, dos Estados de Rio de Janeiro e de Santa Catarina.

Como discutido anteriormente, se a maior parte da vegetação natural se encontra em terras privadas, são aplicadas a estas a lei ordinária (Código Florestal), a qual define que todas as propriedades agrícolas necessariamente precisam manter as Áreas de Preservação Permanente juntamente com as Reservas Legais, não podendo, quanto à primeira, ser ocupada por atividades agropecuárias além do uso ecológico das mesmas.

Essas Áreas de Preservação Permanente não apresentam variação na metragem independente do tamanho da propriedade, bem como de sua localização no Brasil.

Enquanto as reservas legais apresentam variação no tamanho em função do tamanho das propriedades, e de sua localização, sendo a porcentagem destinada às reservas de 80% nas florestas da Amazônia Legal em áreas que não há Zoneamento Ecológico e Econômico (ZEE), 50% naquelas em que há ZEE, 35% nas áreas de Cerrado e até 20% nas áreas que não pertencem à Amazônia Legal. Por não serem Áreas de Preservação Permanente, estas Reservas permitem usos de baixo impacto, mas que, no entanto, não ocorra remoção completa da cobertura vegetal natural.

Conforme Medida Provisória 2.166-67 de 2001, Reserva Legal corresponde à:

área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e floras nativas.

E ao considerar o histórico brasileiro, desde a criação do Código Florestal em 1934 e as subsequentes modificações realizadas neste, percebe-se muitas vezes, assim como colocado por Moraes (2009) apenas um processo constante de aliteração. Ademais, há de se considerar problemas tanto na conceituação, a qual consta no Art 1º do Código Florestal, uma vez que o conceito de APP manteve sua redação original inalterada por todos estes anos, bem como seus termos imprecisos. E quanto à função ambiental destas áreas, abordada nos Art. 3º e 4º do mesmo, o autor questiona tanto pela própria metragem como por sua função, destacando, se há de fato a compatibilização entre a redação, seja do Código ou das Resoluções com a realidade, ou seja, se é de fato funcional.

Não obstante, ao considerar as leis e resoluções em vigências, estas apresentam “brechas” que aliadas à falta de uma fiscalização efetiva, condicionam o uso descabido dos recursos naturais, sejam estes hídricos, minerais, florestais etc. O que mostra, em fato, com as inúmeras alterações no Código Florestal brasileiro, através de leis, decretos e medidas provisórias, a dificuldade em harmonizar os interesses dos diversos agentes envolvidos e bem como, em considerar as diferenças regionais.

Portanto, o que é possível perceber, ao analisar as leis que atentam às questões ambientais, em especial as áreas de vegetação natural, uma situação, muitas vezes conflituosa entre as diferentes conceituações abordadas pelas Resoluções e pela lei

ordinária (Código Florestal), é uma invasão do campo de atuação legislativa, o que pode acarretar na ocorrência destas lacunas legislativas.

No entanto, estas críticas feitas neste trabalho devem se tratadas com uma tentativa de contribuição para as discussões recentes, principalmente ao se considerar a atual situação do novo Código Florestal, de modo a repensar a real necessidade em se alterar tal legislação. Aliando desta forma, a criação de diretrizes com a compatibilização entre o ambiental e o que é funcional quanto ao aspecto econômico.

Ademais, deve-se considerar além deste equilíbrio entre o ambiental e o econômico, as especificidades regionais, com metragens adequadas pautadas em uma lógica técnica-científica funcional, e para isto existem as tecnologias, tais como o uso de Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informações Geográficas, de modo a compreender estas diferenças encontradas em cada ambiente e assim determinar as exigências dos mesmos, visando à preservação dos recursos naturais e a exploração destes.

3.2 Geoprocessamento e Análise Ambiental

A constante busca por conhecimento e o estudo do espaço geograficamente constituído ocasionou em meados do século XX, uma necessidade de aprimoramento das ferramentas utilizadas na produção científica, em específico, o mapa. De acordo com Fitz (2009), estas novas tecnologias começam a se sobrepôr à utilização destes mapas físicos, tornando-se um instrumento essencial para um técnico no desenvolvimento de seus trabalhos.

Em função destes avanços da tecnologia da informática, “tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento.” (CÂMARA; DAVIS, 2004, apud MOREIRA, 2011, p.202)

O uso do geoprocessamento, assim como abordado por diversos autores, tem uma vasta aplicação em distintas áreas, de modo a contribuir para os estudos sejam de caráter ambiental, econômico e/ou social. Sendo assim, de acordo com Moreira (2011, p.202):

[...] pode-se dizer que o geoprocessamento é um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e ao tratamento de informações espaciais para um objeto específico, ou seja, uma informação atrelada a um atributo geográfico. Por isso, tem sido empregado em diversas áreas da ciência, entre elas a cartografia, a geografia, a agricultura e floresta e a geologia.

Para Fitz (2009, p.26)), os diversos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) desenvolvidos no decorrer do tempo, evoluíram, entre outros fatores, devido aos “avanços computacionais (*hardware*) e de programas específicos (*software*)”, de modo a atender aos imperativos do meio acadêmico, podendo desta forma, serem utilizados para estudos de fenômenos climáticos, humanos, sociais, econômicos e ambientais.

Contudo, não se deve confundir o termo SIG com Geoprocessamento, pois este último está relacionado a um termo mais abrangente referente a qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados. Enquanto o primeiro se refere a sistemas específicos que executam aplicações que envolvem o Geoprocessamento, ou seja, o SIG está relacionado a um conjunto de ferramentas reunidas para a aquisição, armazenamento, manipulação, visualização e análise de dados e informações geográficas. Este sistema computacional trabalha com dados associados a um sistema de coordenadas conhecido, portanto, pontos reais do terreno, sejam estas coordenadas geográficas ou planas.

Assim como para Camara et al. (2005), apud MOREIRA, (2011, p.203 – 204):

[...] o termo Sistema de Informação Geográfica é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial; oferecem ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre determinado assunto estão ao seu alcance, inter-relacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum: a localização geográfica.

Quanto à utilização do SIG, este pode ser “empregado na integração e análise de dados provenientes de fontes diversas, como imagens digitais de satélites, mapas digitais de usos e tipos de solo, topográficos, hidrologias, vegetação, floras e faunas, cartas climatológicas, censos socioeconômicos e outros” (LIU, 2006, p.811).

O tratamento em conjunto de diferentes dados, de caráter tabular e espacial, é integrado em um único sistema organizado, permitindo assim estabelecer relações espaciais entre estes elementos gráficos, de modo a gerar novas informações. Deste modo, há pelo menos três maneiras de utilizar um SIG: “como ferramenta para produção de mapas; como suporte para a análise espacial de fenômenos”; e “como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.” (INPE, 2010, apud MOREIRA, 2011, p.204)

Os dados espaciais tratados em um SIG são representados em duas formas distintas, **raster** ou **matricial** e o **vetorial**.

Na **estrutura raster** ou **matricial**, o espaço é representado por meio de uma matriz composta de células que possuem um número de linha, um número de coluna que definem as coordenadas espaciais da célula e um valor associado ao atributo representado, podendo ser esta representação do tipo, imagens de satélite, mapas temáticos matriciais, entre outros.

O **modelo vetorial** é representado por um ou mais pares de coordenadas (x,y) ou Latitude e Longitude, sendo o objeto representado por pontos, linhas ou polígonos, associando a estes, um atributo relacionado ao mundo real, tal como linhas de drenagem, uma propriedade rural representada por um polígono, um ponto de localização geográfica, etc (MOREIRA, 2011, p.205 - 206).

Quanto à geração de um banco de dados geográficos, os SIGs permitem a inserção e integração, em uma única estrutura de base, de informações espaciais de diversas fontes, como cartografia, imagem de satélites, dados de cadastro rural e urbano, dados de redes, etc. Contudo, os bancos de dados geográficos diferem-se dos convencionais, por armazenarem além dos dados alfanuméricos, dados relacionados com a localização geográfica das entidades.

Outra função importante, a qual é possível ser realizada nos SIGs, refere-se às análises temporais de certos fenômenos, bem como de sua evolução, por permitir agregar em uma única estrutura de sistema de informações, dados de distintas épocas, assim como é o objetivo principal deste trabalho ao mapear os desmatamentos ao longo de 35 anos.

Portanto, na busca por conhecimento sobre a realidade geográfica, surge a necessidade do auxílio de técnicas de apoio, entretanto, assim como destacado por Fitz (2009), este uso de tecnologias de importantes aplicações, exigem sólidos conhecimentos, cabendo ao profissional, um arcabouço conceitual de diversas áreas do saber, desde conceitos geográficos a conhecimentos específicos de outras áreas, como por exemplo, conceitos de física, matemática, química, dentre outros. Quanto a isto, ao longo das últimas décadas, cientistas tem-se aliado no desenvolvimento de novas tecnologias e métodos de análise que atendam ao estudo e modelagem das alterações na configuração da ocupação do solo (LIU, 2006)

São exemplos disto, os algoritmos classificatórios utilizados em imagens de sensoriamento remoto, índices de vegetação, modelagem numérica do terreno, assim como as técnicas para análises espaço-temporais para a produção de mapas como subsídio aos estudos e às análises, sejam estas ambientais ou de outros campos do saber geográfico.

3.3 Sensoriamento Remoto

O termo sensoriamento remoto foi promovido numa série de simpósios patrocinados pelo ONR nos laboratórios Willow Run da Universidade de Michigan em conjunto com o National Research Council durante os anos 1960s e inícios dos 1970s, e desde então tem sido usado. (ESTES e JENSEN, 1998 apud JENSEN, 2009 p. 4)

Para conceituar o que é Sensoriamento Remoto, pode-se referir a um sistema de aquisição de informações sobre certos objetos sem que haja contato físico com os mesmos, todavia, seria uma definição simplista e que não engloba, de fato, os processos envolvidos.

Para tanto, tendo em vista a vasta gama de definições de diversos autores, procurou-se por uma definição que abrangesse tanto os componentes que fazem parte do processo de aquisição de informações, como também, da explicação do processo em si.

Neste ponto, optou-se pela definição da autora Novo (1992, p.2), na qual Sensoriamento Remoto é:

[...] a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.

Tendo por definido o termo, é importante traçar o desenvolvimento histórico, destacando os principais direcionamentos para os usos dos produtos do Sensoriamento Remoto ao longo do tempo, conforme seus avanços técnicos.

Quanto à história do Sensoriamento Remoto, há algumas controvérsias. Do ponto de vista da *American Society of Photogrammetry*, a origem do Sensoriamento Remoto está atrelada aos avanços dos sensores fotográficos. Para o *Manual of Remote Sensing*, a história pode ser dividida especificamente, em dois períodos, o primeiro de 1860 a 1960 caracterizado pelo uso de fotografias aéreas; e o segundo período de 1960 até os dias atuais, caracterizado pelo desenvolvimento de sensores complexos, que captam em distintos intervalos do espectro eletromagnético, em função dos contínuos avanços técnicos-científicos em diversas áreas, como, Física, Informática, Geociências, dentre outras.

Além do avanço no processo de aquisição de informação pelos sensores, houve também, considerável avanço no processamento e análise de imagens, com o desenvolvimento de novas metodologias com o uso destas imagens, como, por exemplo,

para levantamentos de recursos naturais, monitoramento do meio ambiente etc, exemplo disto, é o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que tem contribuído neste sentido, com o desenvolvimento do Sensoriamento Remoto no Brasil.

A possibilidade de descobrir e conhecer melhor a superfície terrestre trouxe ao homem a ânsia de mapear a superfície de um novo ângulo, bem como os recursos naturais passíveis de serem identificados, sendo este um ponto estratégico, no que diz respeito à posse de certas informações. Uma vez que conhecer a superfície de outro ponto de vista era instigante e ao mesmo tempo, uma fonte de informação riquíssima, conforme o uso em que fossem empregadas estas informações.

O uso destas informações adquiridas por Sensoriamento Remoto, durante grande parte da história do SR era uma fonte restrita para fins militares, uma vez que ter o conhecimento sobre certas informações, representava uma grande estratégia militar em tempos de Guerra.

Ou seja, a priori, as imagens eram obtidas através de câmeras fotográficas a bordo de balões e/ou a partir de plataformas aéreas para o reconhecimento da superfície terrestre, almejando benefícios militares, tais como detecção de tropas e camuflagens inimigas. O uso de fotografias aéreas para fins militares, remonta desde a guerra civil americana, com a utilização de balões com câmeras fotográficas a bordo. Estes balões eram utilizados para obter informações sobre o território e posteriormente, elaborar mapas das posições de defesa das tropas (**Figura 3**).



Figura 3. Tropas da União do Exército segurando o balão *Intrepid* no campo de batalha de Fair Oaks em 1862, durante a guerra civil, Virginia, EUA.

Fonte: <http://www.thaddeuslowe.name/CWIntrepidbeingfilled.htm> (Acesso em: 01 de Abr. de 2012)

No entanto, mesmo em 1890, período dos primórdios do Sensoriamento Remoto, pessoas como o francês Arthur Batut, já vislumbravam a importância das informações adquiridas por Sensoriamento Remoto, mesmo que por câmeras presas a pipas, para diversas áreas, e não somente para fins de reconhecimento das forças armadas. Batut (1890), em seu livro, intitulado “A fotografia aérea por pipas”⁶ propunha o uso de fotografias do terreno para o “explorador”, o arqueólogo (para localizar ruínas) e para o agrônomo (com a finalidade de identificar focos de doença em vinhedos), ou seja, o autor apoiava a popularização do uso das fotografias aéreas. (JENSEN, 2009)

No período pós Segunda Guerra Mundial, devido ao conflito entre Estados Unidos e a antiga União Soviética, iniciou-se um intenso desenvolvimento de tecnologias para coleta de informações sobre os territórios inimigos, em busca de arsenal bélico. Este

⁶ Grandes pipas também eram utilizadas no transporte de câmeras para a obtenção de fotografias aéreas. As primeiras fotografias obtidas por este métodos foram pelo francês Arthur Batut. (JENSEN, 2009)

processo de coleta de dados, primeiramente, era realizado com o uso de câmeras fotográficas a bordo de aeronaves.

O sobrevoo de reconhecimento aéreo sobre outro país “sem autorização das autoridades competentes era considerado um ato ilegal”, mesmo assim, os Estados Unidos consideravam essencial o monitoramento, por fotografias, de outros países considerados inimigos. Neste ínterim, no ano de 1954, foi aprovado o programa para reconhecimento aéreo, denominado U-2 e em 1955, o presidente Eisenhower apresentou durante a Conferência das Quatro-Potências (*Four-Power Summit*) a proposta que ficou conhecida por “Doutrina dos Céus Abertos” , a qual pretendia uma colaboração entre Estados Unidos e União Soviética no “fornecimento dos meios para obter fotografias aéreas em voos de reconhecimento e que seriam mutuamente supervisionados”. (JENSEN, 2009, p.78)

Com os avanços espaciais, isto no segundo período de 1960 em diante, as câmeras fotográficas foram substituídas por sensores modernos a bordo de satélites que registram, a centenas de quilômetros de distância, “certa intensidade de energia que posteriormente se transforma em um sinal passível de interpretação”. (NOVO, 1992, p.5)

Nas últimas décadas, as imagens de satélite tem sido amplamente utilizadas em diversas áreas científicas, favorecendo um melhor reconhecimento da superfície terrestre e de seus recursos naturais.

No processo de obtenção de imagens pelos satélites, a energia que é refletida pela superfície terrestre, é registrada pelos sensores a bordo destes satélites artificiais. E posteriormente, esta energia registrada é transmitida para as estações de recepção localizadas na Terra e assim, transformada em dados gráficos, tabulares e imagens. Sendo o Sol a principal fonte de energia eletromagnética, contudo, há sensores que operam a partir de fontes artificiais, tais como os radares e os sistemas fotográficos.

Quanto aos recursos terrestres, a NASA lançou o primeiro satélite ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*) em Julho de 1972, o qual posteriormente foi denominado de Landsat 1 e assim por diante, foram lançados uma série de satélites Landsat 1, 2, 3, 4, 5 e 7, destinados à exploração dos recursos da Terra (**Tabela 1**).

Tabela 1. Série de satélites Landsat.

Satélite	Lançamento	Desativação	Sensores
1	23/07/1972	06/01/1978	MSS e RBV
2	22/01/1975	25/01/1982	MSS e RBV
3	05/03/1978	31/03/1983	MSS e RBV
5	01/03/1984	em atividade	TM e MSS
7	15/04/1999	em atividade*	ETM+

Fonte: INPE/OBT/DGI (2009)

* Com problemas de geração de imagens

De acordo com Liu (2006), com as novas inovações tecnológicas, foi possível realizar alterações significativas tanto no satélite Landsat 4 como no Landsat 5, tornando-os superiores aos seus antecessores. Nestas inovações, inclui-se o fornecimento direto das imagens registradas pelos sensores MSS (*Multi Spectral Scanners*) e TM (*Thematic Mapper*) às estações de recepções distribuídas em diversas partes do mundo – sendo estas imagens transmitidas via satélites de telecomunicações.

No Brasil as imagens são recebidas através da antena do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em Cuiabá, de forma contínua de todo o território brasileiro desde a década de 1970, o que configura um enorme acervo de dados de longo período sobre o Brasil e a América do Sul.

Ademais, como citado anteriormente, no aperfeiçoamento destes novos satélites, incluía-se também o novo sensor chamado *Thematic Mapper*. Este sensor registra dados em sete bandas espectrais, três no visível, uma no infravermelho próximo, duas no infravermelho médio e uma no infravermelho termal com uma resolução espacial de 30 metros e, na banda termal 120 metros, diferentemente do sensor MSS que apresentavam uma resolução espacial de 80 metros.

Atualmente existe uma grande variedade de satélites em órbita com diferentes características em função de seus objetivos, como, por exemplo, para as análises ambientais, destacam-se os satélites meteorológicos como o GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) e o METEOSAT 7, resultado da iniciativa da Agência Espacial Europeia (ESA); satélites para o monitoramento dos recursos naturais como o Landsat 5 e 7, e o satélite CBERS (*China Brazil Earth Resources Satellite*), desenvolvido por meio do programa de cooperação entre o Brasil e a China, além de satélites como o Ikonos

II e o Quick Bird II que fornecem imagens de alta resolução, respectivamente, de 1 m e 0,61 m em modo pancromático.

A partir disto, estas imagens orbitais podem ser caracterizadas por quatro domínios de resolução, espacial, espectral, radiométrica e temporal.

Primeiramente, “resolução é uma medida da habilidade que um sistema sensor possui de distinguir entre respostas que são semelhantes espectralmente ou próximos espacialmente.” (NOVO, 1992, p.55)

Resolução espacial: refere-se à capacidade de um sensor a bordo de um satélite artificial, em discriminar e medir os alvos da superfície terrestre.

Resolução espectral: refere-se à capacidade de um sensor em registrar a energia emitida e/ou refletida por dado alvo em diferentes regiões do espectro. Logo, quanto maior for a resolução espectral, maior a largura da faixa espectral em que o sensor opera.

Resolução radiométrica: refere-se à capacidade de um sensor em discriminar, em uma área imageada, alvos que apresentam pequenas diferenças de energia emitida e/ou refletida em certas regiões do espectro eletromagnético. (MOREIRA, 2011, p.163)

Resolução temporal: refere-se ao intervalo de tempo que um satélite leva para obter dados de uma dada área por duas vezes consecutivamente. Esta depende da resolução espacial do sensor, ou seja, quanto maior a largura da faixa de varredura, menor será a resolução temporal. Por exemplo, um satélite de alta resolução espacial, tal como o IKONOS II (1 metro), portanto com uma largura de faixa de 11 km, terá uma resolução temporal superior a do sensor TM do Landsat, cuja largura da faixa é de 185 km.

Assim, de acordo com Jensen (2009), o Sensoriamento Remoto é uma fonte de informações básicas, as quais podem ser utilizadas por outras ciências em suas investigações científicas, contribuindo para o satisfatório modelamento de diversos problemas tanto naturais como culturais, desde áreas de pequenas dimensões a áreas geográficas de grandes proporções.

3.3.1 Natureza da Radiação Eletromagnética e sua interação com a superfície terrestre

Newton (século XVII) afirmou que a luz era um feixe de partículas que se deslocava em linha reta, além do mais, de acordo com sua obra “a variação de intensidade da fonte luminosa era proporcional à quantidade de corpúsculos que emitia em determinado

tempo.” (MOREIRA, 2011, p.21). Nos anos decorrentes, a luz foi encarada como uma onda plana e contínua, no entanto, Einstein (século XX) confirmou que “quando a luz interage com a matéria, ela comporta-se como se fosse composta de muitos corpos individuais chamados *fótons*, os quais portam propriedades parecidas com as de partículas, como energia e momento.” (MEADOWS, 1992, apud JENSEN, 2009, p.44)

Sendo assim, nos dias atuais, a luz é descrita em termos de suas propriedades de onda, todavia, quando a energia interage com a matéria, é útil descrevê-la como pacotes discretos de energia, ou *quanta*.⁷ Ou seja, o Modelo ondulatório explica melhor certos fenômenos como a propagação da energia, a dispersão, a reflexão, a refração, a interferência, etc., enquanto o Modelo corpuscular explica melhor certos fenômenos como a absorção e a emissão da energia radiante. (NOVO,1992)

Maxwell (século XIX) concebeu a radiação eletromagnética como uma onda eletromagnética que se desloca pelo espaço à velocidade da luz. Os vetores dos dois campos flutuantes (elétrico e magnético) formam entre si, ângulos retos (ortogonais), e oscilam perpendicularmente em relação à direção do deslocamento da onda, como ilustrado na Figura 4.

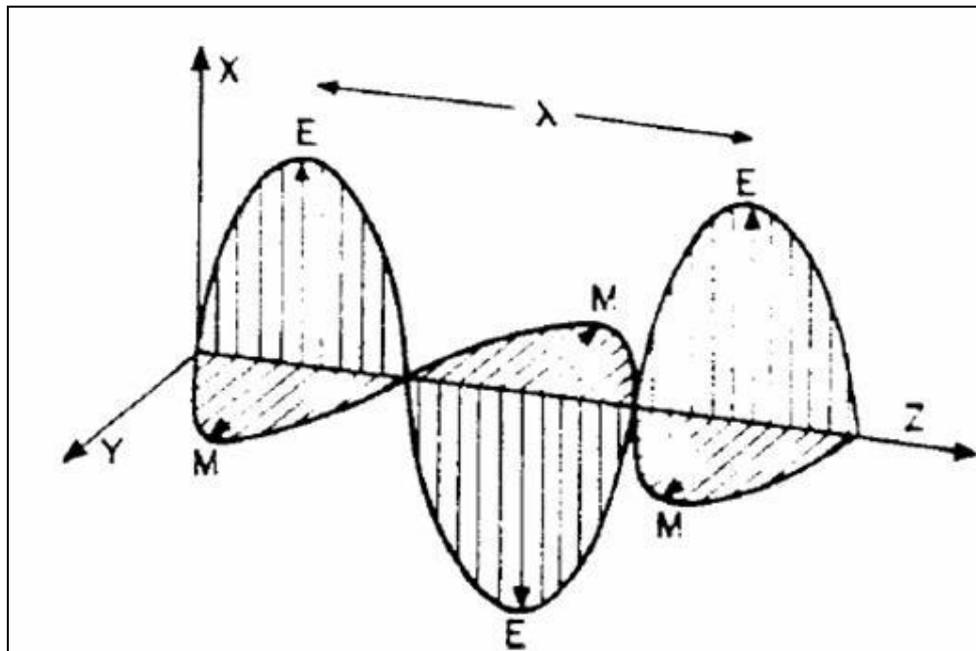


Figura 4. Campos elétrico (E) e magnético (M) de uma onda eletromagnética se propagando a uma dada direção (z).

Fonte: COLWELL (1953, apud NOVO, 1992)

⁷ JENSEN, 2009, p.45.

A aceleração de “uma carga elétrica provoca perturbações no campo elétrico e magnético”, que se propagam no vácuo a velocidade da luz, velocidade esta equivalente a 300.000 km por segundo. Então, pode-se definir “uma onda eletromagnética como a oscilação do campo elétrico (E) e magnético (M) segundo um padrão harmônico de ondas. Por harmônico, entende-se que as ondas são espaçadas repetitivamente no tempo.” (NOVO, 1992, p.9)

Assim, essa radiação eletromagnética (REM) é gerada pela aceleração de uma carga elétrica, sendo que a duração da aceleração determinará o comprimento de onda, enquanto que a frequência é determinada pelo número de acelerações por segundo. Logo, a frequência é o número de comprimentos de onda que passam por um ponto por unidade de tempo.

Portanto, tem-se a equação (**Equação 1**) a qual demonstra a relação inversamente proporcional entre comprimento de onda, expressa pela letra grega λ (lâmbda), e frequência, expressa pela letra f, ou seja, quanto maior a frequência, menor será o comprimento de onda. Ademais, quando a radiação eletromagnética passa de uma substância para outra, a velocidade e o comprimento de onda são alterados, enquanto que a frequência permanece a mesma.

$$\lambda = c/v \quad \text{(Eq. 1)}$$

Em que: λ =comprimento de onda (dado em μm ou nm)

c = velocidade da luz (3×10^8 m/s)

f = frequência (Hz)

Neste ínterim, quando do contato entre as ondas eletromagnéticas com a matéria, ocorre um processo de transferência de energia da radiação para o objeto, podendo esta ser em maior ou menor “quantidade”, em função das propriedades físico-químicas do objeto. Assim como concluído por Novo (1992, p.11),

[...] um certo feixe de radiação, atingindo um objeto, terá um espectro de comprimentos de onda com certas ‘quantidades’ de energia diferente. Desta forma, a radiação eletromagnética em cada comprimento de onda terá uma certa probabilidade de ser absorvida pela matéria em função de suas propriedades físico-químicas.

A interação da energia eletromagnética com a matéria pode produzir radiação em diferentes comprimentos de onda dependendo da quantidade de energia interagindo. No nível atômico, para que ocorra uma mudança da posição de um elétron nos níveis de energia, é necessária uma maior quantidade de energia para realizar o salto quântico⁸. Sendo assim, para que um elétron possa saltar um nível energético acima, é necessária uma quantidade de energia disponível para realizar este trabalho, logo, o átomo que recebeu uma quantidade de energia torna-se excitado.

Deste modo, o elétron que se deslocou a um nível energético acima, após uma unidade de tempo, ao retornar ao nível de energia ou órbita de mais baixa energia, libera radiação. E esta radiação, proveniente da energia que fica disponível quando um elétron eletricamente carregado se move de um estado excitado para não-excitado, é emitida como um único pacote de energia eletromagnética, uma unidade de luz com comportamento de partícula, chamado *fóton*. (JENSEN, 2009)

Portanto, tem-se que o comprimento de onda dependerá da quantidade de energia de um quantum, expressando assim, uma relação inversamente proporcional, pois quanto maior o seu conteúdo energético, menor o comprimento de onda envolvido.

Neste ponto, a proposta por Bohr e Planck (século XX) da Teoria Quântica, tomando por base a natureza discreta das trocas de energia radiante, considera que essa energia é transmitida em “pacotes discretos” chamados “*quanta*” ou “*fóton*”. E “toda vez que um elétron salta de um nível energético maior para um menor, um fóton move-se para fora à velocidade da luz.” (JENSEN, 2009, p.46).

Por meio da compreensão de como a energia eletromagnética é gerada em nível atômico é possível compreender a interação da luz com a matéria, e o resultado desta interação, em nível molecular, é de importância crucial no Sensoriamento Remoto. Pois a partir do monitoramento pelos sensores, “da natureza exata do fluxo radiante⁹ que chega (incidente) em comprimentos de onda selecionados e como ele interage com o terreno, é possível obter importantes informações” sobre o mesmo. (JENSEN, 2009, p.55)

Do mesmo modo, para Liu (2006, p.5), “a aquisição de informações é baseada na captação dos sinais eletromagnéticos” que cobrem todo o espectro “das ondas eletromagnéticas desde a onda longa de rádio, passando pelas microondas¹⁰,

⁸ Salto quântico é o salto realizado por um elétron para um outro nível energético sem ter que atravessar quaisquer posições intermediárias.

⁹ Taxa com que a energia radiante se transfere de um ponto para outro e é medido em Watts (J/s). (MOREIRA, 2011, p.30)

¹⁰ As microondas são registradas pelos sensores de radar.

submilímetro, infravermelho, infravermelho próximo”, intervalo da luz visível, ultravioleta, raios x até os raios gama.

Para Novo (1992, p.48):

Quando um fóton com qualquer energia entra em contato com a matéria, ocorrem diferentes interações a nível molecular e atômico. A energia contida no fóton pode ser absorvida, determinando o aquecimento da substância sobre a qual a energia radiante está incidindo. A energia absorvida pela substância pode ser posteriormente emitida em função de sua temperatura e/ou estrutura, em comprimentos de onda semelhantes ou não ao da radiação incidente. A energia do fóton pode ser espalhada para fora da substância sem ser absorvida. Finalmente a energia do fóton pode ser refletida sem alteração de volta para o meio.

Ou seja, os objetos da superfície terrestre podem absorver, refletir e/ou emitir essa radiação eletromagnética em diferentes intensidades, e a partir destas variações no processo de emissão e/ou reflexão, pode-se distinguir um alvo de outro através da interpretação das imagens de satélite que registram esta energia que chega aos sensores.

O Espectro Eletromagnético (**Figura 5**) é a representação ordenada de maneira contínua, das diferentes radiações eletromagnéticas distribuídas em intervalos, de acordo com o tipo e propriedade da energia, ou seja, em função de seu comprimento de onda (expresso em unidades de nanômetro - nm , micrômetro - μm , etc) ou de sua frequência (unidades de hertz-Hz). Cada intervalo das radiações “receberam denominações, de natureza histórica ou decorrente dos processos utilizados na sua produção ou determinação.” (STEFFEN et al., 1996, apud MOREIRA, 2011, p. 25)

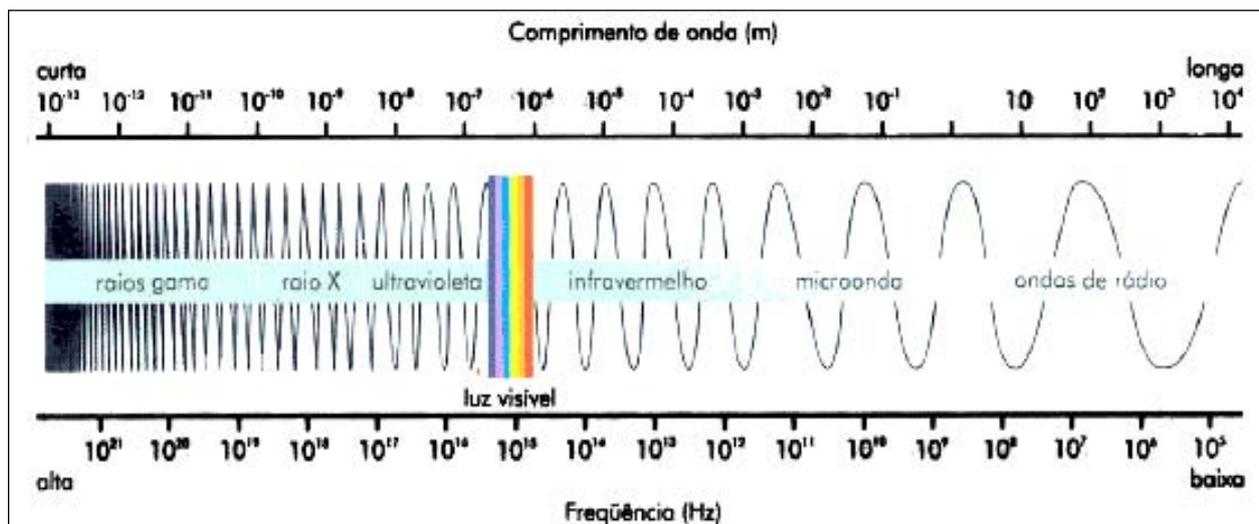


Figura 5. O Espectro Eletromagnético.

Fonte: FLORENZANO (2002, p. 11)

Das interações com a superfície, a energia pode ser fracionada em até três partes: a fração absorvida, refletida e transmitida. A “quantidade” fracionada está diretamente relacionada a dois fatores: primeiramente às características físico-químicas e biológicas de cada alvo; e à intensidade da radiação, que, por conseguinte, está relacionada com o intervalo do espectro eletromagnético. Portanto, a energia solar que incide sobre uma árvore, pode ser absorvida, refletida e/ou transmitida, em função dos fatores anteriormente descritos.

Fração Refletida: é a parcela da radiação que foi refletida pelos alvos da superfície terrestre. Esta apresenta grande importância para o sensoriamento remoto, uma vez que um grande número de aplicações das imagens de satélites ou de outras formas de coleta destes dados é feito por meio da coleta, processamento e análise dessa radiação refletida. Sendo que a intensidade da radiação refletida por dado alvo, é função do comprimento de onda incidente, do ângulo de incidência, da polarização da radiação, assim como das propriedades elétricas do alvo e da textura do mesmo. (MOREIRA, 2011, p. 50-51)

Fração Absorvida: é a parcela da radiação eletromagnética absorvida, resultando na transferência de energia dessa radiação para o material em que houve a incidência, podendo ocorrer o aquecimento do material ou não, caso a interação entre radiação e material não libere quantidade significativa de calor. (MOREIRA, 2011, p. 50)

Fração Transmitida: é a parcela da radiação que atravessa um meio, sem alterar a frequência das radiações monocromáticas que a compõem, ou seja, ocorre a transmissão. No caso, quando a radiação penetra em uma folha, no entanto, não é

aproveitada por esta, ela atravessa os componentes da folha e atinge o substrato. (MOREIRA, 2011, p. 50)

Os sensores de satélite registram essas interações entre a REM e a superfície terrestre, contudo estas dependem fortemente das frequências das ondas, combinadas com as características físico-químicas tanto dos alvos na superfície como da atmosfera, meio de propagação desta energia até a superfície e desta para os sensores. Ondas de diferentes intervalos espectrais resultam em diferentes interações “que envolvem vários mecanismos [...], tais como rotação, vibração ou deslocamento das órbitas elétrons e das moléculas”. (LIU, 2006, p.5)

A energia eletromagnética emitida pela radiação solar que tenha um comprimento de onda inferior a $0,3 \mu\text{m}$, é quase toda absorvida pela atmosfera, ou seja, raios gama, raios x, e radiação ultravioleta. Sendo assim, “a maioria dos sensores de satélite é desenvolvida para registrar os sinais de energia eletromagnética refletida ou emitida” no comprimento de ondas superiores a $0,3 \mu\text{m}$, comprimentos estes que conseguem penetrar na atmosfera e incidir na superfície terrestre. Portanto, as energias que são registradas pelos sensores, encontram-se mais especificamente, localizadas nos intervalos de espectro eletromagnético do visível, infravermelho e microondas. (LIU, 2006, p.8)

Para tanto, conhecendo as características físico-químicas e biológicas dos alvos, e a interação destes com a REM, tem-se o comportamento espectral dos mesmos, como é o caso da vegetação, discutida na sequência.

3.3.2 Comportamento espectral da vegetação

Por comportamento espectral, entende-se a medição da energia refletida por dado alvo, na área captada pelo sensor. Portanto, há uma mistura de radiações do alvo e da superfície de fundo (solo), logo, este comportamento pode variar de um local ao outro.

Como dito anteriormente, da interação entre a radiação incidente com a superfície terrestre, pode-se fracionar esta radiação em três porções, absorvida, refletida e transmitida. Quanto à vegetação, esta pode, sob interferência do substrato, bem como da disponibilidade hídrica, apresentar distintos padrões visual nas imagens orbitais, em função de sua reflectância da radiação eletromagnética.

Conforme Moreira (2011, p.73),

A magnitude de cada uma dessas partes depende da região do espectro eletromagnético. As quantidades de energia absorvida, transmitida ou refletida pelas folhas das plantas podem diferir de uma espécie para outra ou até mesmo dentro da própria espécie, porque existem, dentre outros, os fatores ambientais que influenciam direta ou indiretamente nesta interação.

Da interação da energia solar com as plantas, por volta de 50% da radiação incidente na planta é absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes nas folhas, esta energia absorvida é utilizada em reações físico-químicas, provocando respostas fisiológicas nas mesmas. Parte da radiação que não tenha sido absorvida é refletida, fenômeno denominado reflexão, e parte é transmitida através das camadas de folhas que compõem a copa até atingir o substrato. (MOREIRA, 2011, p.73)

Do ponto de vista fisiológico e bioquímico da planta, a fração absorvida é a mais importante, no entanto, para o sensoriamento remoto, o grande interesse está na fração refletida, além de que a partir da análise desta fração, pode-se inferir sobre o comportamento da energia absorvida.

Segundo Gates et al. (1965), apud Moreira, (2011, p.80), os principais mecanismos que interferem na quantidade de energia eletromagnética refletida pelas folhas de um dossel, são “pigmentos, espaços ocupados pela água e pelo ar e estruturas celulares com dimensões do comprimento de onda da radiação incidente [...]”

Para tanto, de acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2009), para melhor compreender os fundamentos das técnicas de sensoriamento, como também saber empregá-las de forma concreta e objetiva para os estudos do comportamento espectral, deve-se considerar dois parâmetros fundamentais. O Fator de Reflectância Bidirecional e o Fator de Reflectância Direcional-Hemisférica, e assim, a partir destes, é possível compreender os fatores de influência na reflexão eletromagnética por parte da vegetação.

Por **Reflectância Bidirecional**, entende-se “a quantidade relativa de radiação eletromagnética que é refletida por uma dada superfície ou objeto, para uma dada condição geométrica de iluminação e de visada.” (Idem, p.17) Ou seja, este parâmetro é utilizado para avaliar as propriedades de reflexão por um objeto, sem considerar a intensidade da radiação incidente sobre o mesmo.

Enquanto o **Fator de Reflectância Direcional-Hemisférica** é determinado pelos valores de iluminação direcional, e a coleta da radiação eletromagnética refletida, pela utilização das denominadas esferas integradoras. (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009, p.17)

A Figura 6 mostra uma curva do Fator de Reflectância Direcional-Hemisférica para uma folha verde sadia, a qual mostra uma curva de reflectância bastante característica, sendo dividida em duas regiões distintas, a região do visível e a do infravermelho. Ou seja, a maior reflectância da energia eletromagnética ocorre no intervalo do infravermelho próximo ($0,72 - 1,1 \mu\text{m}$), enquanto no intervalo do visível, a energia é intensamente absorvida, no entanto no intervalo da região do verde ($0,54 \mu\text{m}$), ocorre um pequeno pico de reflectância. Esta interação da energia dividida em três intervalos com a vegetação será melhor discutida na sequência.

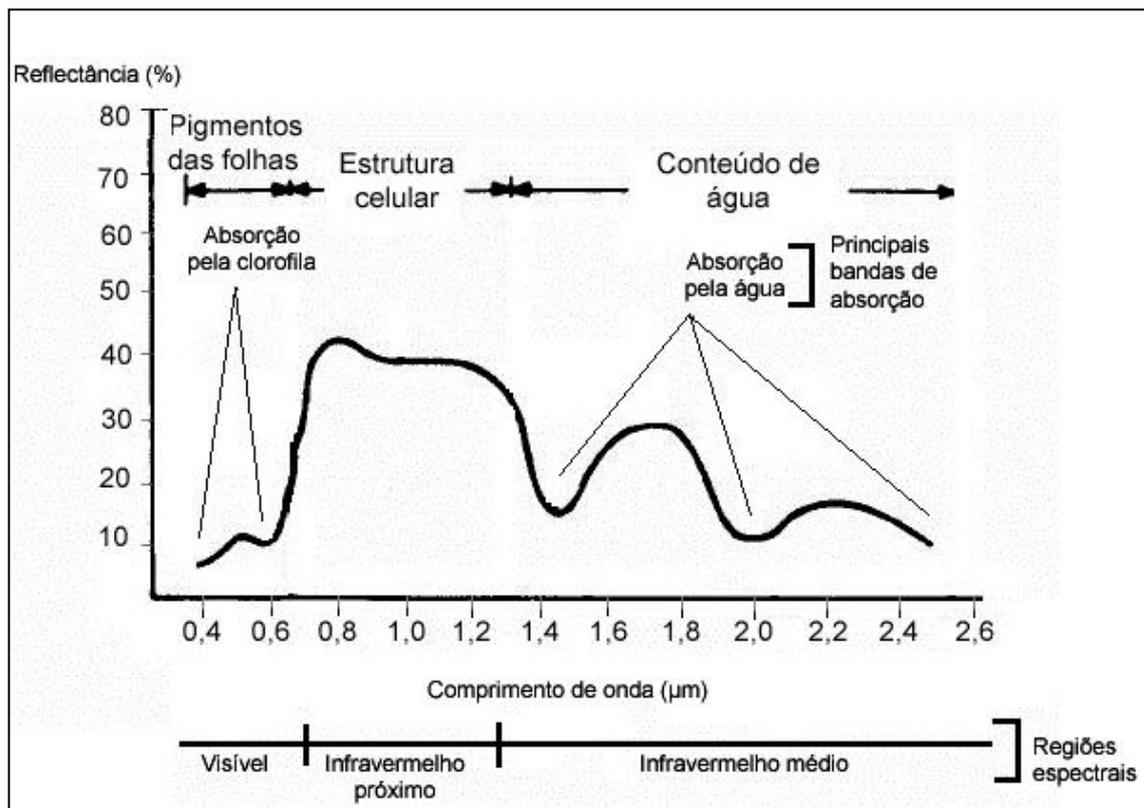


Figura 6: Espectro de reflectância de uma folha de vegetação verde e sadia.

Fonte: HOFFER (1978) Adaptação por MOREIRA (2011)

Na região do Visível ($0,4 - 0,72 \text{ mm}$): Os pigmentos que residem nas folhagens dominam a reflectância, definindo assim a curvatura dos fatores de reflectância em tal região espectral. A radiação eletromagnética é absorvida seletivamente pelos pigmentos, tais como, clorofila, carotenos e xantofilas. “ Os pigmentos predominantes absorvem radiação na região do azul (próximo a $0,445 \mu\text{m}$), mas somente a clorofila absorve na região do vermelho ($0,645 \mu\text{m}$). A maioria das plantas são moderadamente transparentes na região do verde ($0,540 \mu\text{m}$)” o que determina a coloração esverdeada das folhas (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009, p.19). Esta situação pode ser observada na Figura 7, a qual mostra a absorção de energia por três pigmentos, clorofila “a”, “b” e β -caroteno.

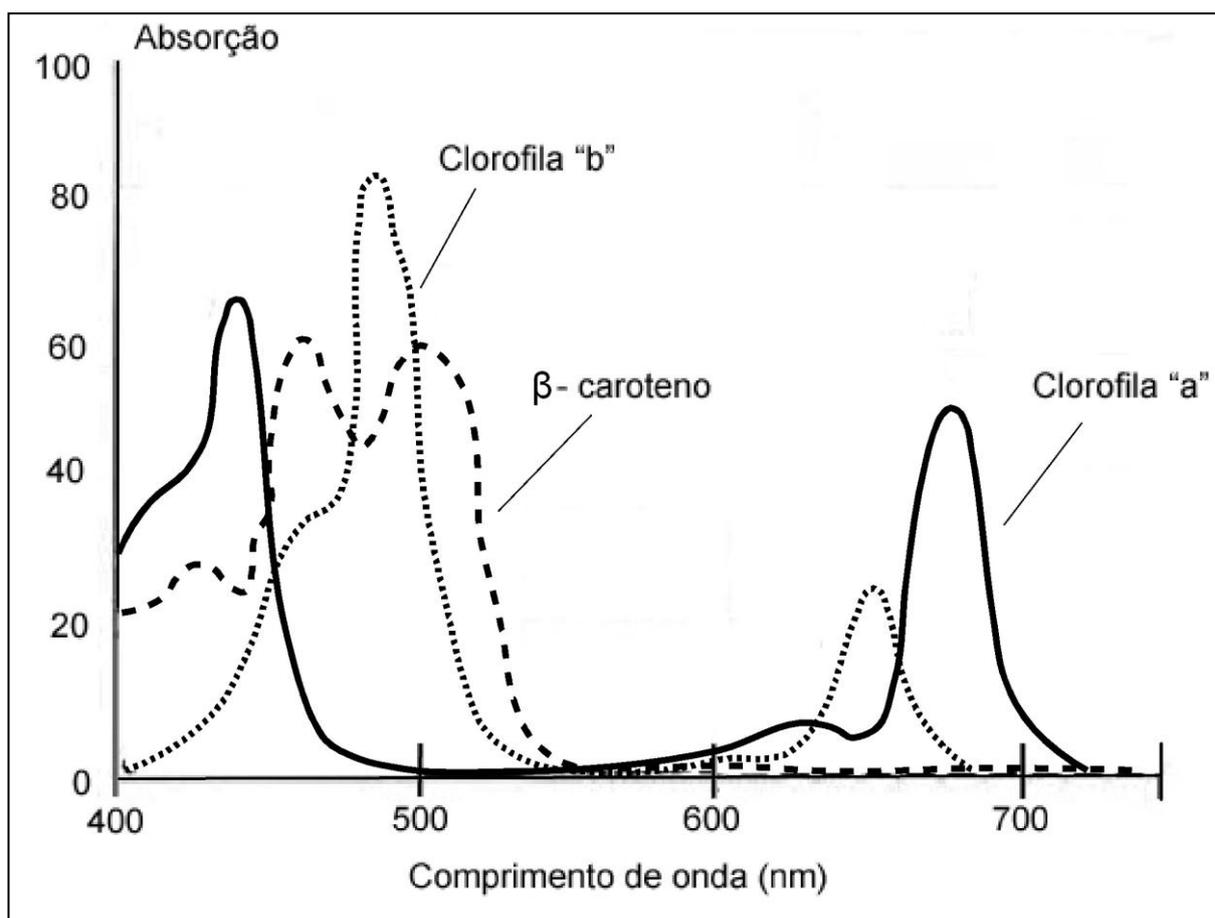


Figura 7: Curvas de absorção de energia luminosa (400 a 700) pelos pigmentos do cloroplasto (clorofila "a" e "b" e β -caroteno).

Fonte: DARNELL et al. (1990, apud MOREIRA, 2011)

Região do infravermelho próximo (0,72 – 1,10mm): Em tal região há uma pequena absorção da radiação, porém ocorrendo um grande espalhamento interno desta, já a refletância da água da folha nesta região do espectro eletromagnético é quase constante, enquanto a absorção é baixa. De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2009, p.19), "fatores externos à folha, como disponibilidade de água, por exemplo, podem causar alterações na relação água-ar no mesófilo, podendo alterar quantitativamente a Refletância de uma folha nesta região."

Região do infravermelho médio (1,10 – 3,20mm): A água proveniente das folhas dificulta a refletância do infravermelho médio, uma vez que a água absorve significativamente a radiação eletromagnética incidente na "região espectral compreendida entre 1,3 a 2,0. Em termos mais pontuais, a absorção da água se dá em 1,1 μm ; 1,45 μm ; 1,95 μm e 2,7 μm ." (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009, p.19)

3.3.3 Interpretação de imagens orbitais

No início da década de 1860, foi tirada a primeira fotografia aérea de que se tem registro, por James W. Black e Samuel A. King, a câmera estava a bordo de um balão a uma altura de 350 metros sobre a cidade de Boston, Massachusetts, EUA. A fotointerpretação foi feita por um estudante de Samuel King, Oliver Wendell Holmes, sobre o conteúdo desta fotografia, e publicada na revista mensal *The Atlantic Monthly*, em Julho de 1863, 3 anos após o episódio. As palavras de tal descrição foram transcritas na sequência:

Boston, tal como a águia e o ganso selvagem a vêem, é um objeto bem diferente do que visto de baixo para cima por uma pessoa que olha para as calhas e chaminés. O Velho Sul e a Igreja da Trindade são dois pontos de referência inconfundíveis. A rua Washington inclina-se através da fotografia como se fosse uma estreita rachadura. A construção dos edifícios comerciais ao longo da rua do leite vão mudando de direção parecendo a trilha seguida pelo gado leiteiro, de onde veio o nome da rua. A vista da parte central da imagem chama a atenção aos olhos pelas inúmeras janelas, chaminés e claraboias perfeitamente definidas... Como uma primeira tentativa, esta foto é um extraordinário sucesso; contudo, seu maior interesse está em mostrar o que podemos esperar que aconteça na mesma direção. (NEWHALL, 1969 apud JENSEN, 2009: 69)

Para a análise de imagens orbitais há o uso de certos princípios fundamentais de interpretação destas imagens (JENSEN, 2009). Tais princípios ou parâmetros devem ser seguidos pelo intérprete quando de sua avaliação de um objeto desconhecido, para tanto, deve-se considerar a tonalidade e cor, forma, textura, tamanho, padrão, sombra, altura e profundidade, dentre outros, características fundamentais ao reconhecimento desse objeto.

Para o caso de imagens orbitais de média e baixa resolução espacial, conforme dito por Moreira (2011, p.250), como, por exemplo, imagens do sensor TM, utilizadas neste trabalho, a interpretação das feições espectrais contidas nestas imagens, não pode ser realizada de forma direta, em função de sua resolução espacial, a qual não permite uma ampliação como ocorre, por exemplo, com imagens de resolução de 2,5 metros, como as do sensor PRISM, do satélite ALOS. Portanto, a associação dessas feições espectrais nas imagens com as classes de uso e ocupação do solo é feita de maneira dedutiva, sendo, necessário “introduzir outros conhecimentos, além do espectral, para fazer esta associação e, assim, gerar um mapa temático”.

Conforme Fitz (2009), este processo de interpretação, baseia-se na percepção do intérprete, o qual deverá estar familiarizado com o local de estudo, exigindo portanto, um conhecimento prévio da vegetação predominante, o tipo de relevo, realizar um levantamento

do histórico dos principais tipos de cultivos, entre outros aspectos, de modo a evitar possíveis erros de interpretação.

Para Jensen (2009), um intérprete de imagens bem treinado utiliza-se desses elementos de interpretação de forma integrada, reconhecendo-o por seu conjunto de características, enquanto um intérprete inexperiente necessita de uma análise individualizada de cada elemento de interpretação, para poder então, julgar e identificar o objeto em relação a outros fenômenos da cena em si. Para o caso de imagens de satélite, cujas resoluções espaciais nem sempre favorecem a interpretação das feições, como é o caso das imagens Landsat com resolução de 30 m, existem técnicas mais sofisticadas, como por exemplo, o uso de classificadores, no entanto, deve-se destacar, o papel primordial do pesquisador tanto no processo de aplicação de técnicas de classificação, mas principalmente, no processo de tomada de decisões, almejando um produto final de qualidade e de utilidade pública.

Para tanto, tem-se na Tabela 2, a listagem dos elementos de interpretação, bem como suas características fundamentais.

Tabela 2. Elementos de Interpretação de imagens.

Elemento	Adjetivos Comuns (quantitativos e qualitativos)
Localização x,y	coordenadas x,y de imagem: coordenada (x) coluna e (y) linha em uma imagem não-retificada; Coordenadas x,y de carta imagem: os pixels em fotografia ou imagem são retificados para projeção de mapas (p. ex., UTM)
Tom e cor	tom de cinza: claro (brilhante), intermediário (cinza), escuro (negro); cor: IHS = intensidade, matiz (H), saturação; RGB: vermelho, verde e azul; Munsell
Tamanho	comprimento, largura, perímetro, área (m ²), pequeno, médio (intermediário), grande

Tabela 2. Elementos de Interpretação de imagens. (Continuação)

Elemento	Adjetivos Comuns (quantitativos) e (qualitativos)
Forma	características geométricas de um objeto: linear, curvilínea, circular, elíptica, radial, quadrado, retangular, triangular, estrelar, amorfo, etc
Textura	arranjo e disposição característicos de repetições de tom e cor, liso, intermediário (médio), rugoso (grosseiro), mosqueado, salpicado.
Padrão	arranjo espacial de objeto no terreno: sistemático, não-sistemático ou randômico, linear, curvilínea, retangular, circular, elíptica, paralelo, centrípeta, serrilhado, estriado, trançado
Sombra	uma silhueta causada por iluminação solar lateral
Altura/Profundidade Volume/Declividade/Aspecto	elevação-z (altura), batimetria-z (profundidade), volume (m ³), declividade (°), aspecto (°)
Sítio Situação Associação	Sítio: elevação, declividade, aspecto, exposição adjacente a água, meios de transporte, serviços públicos; Situação: os objetos estão colocados em uma ordem ou orientação um em relação ao outro; Associação: fenômenos relacionados estão, normalmente, presentes

Fonte: JENSEN (2009)

Por exemplo, na composição falsa-cor 453 (**Figura 8**) do recorte da área de estudo, por exemplo, podem-se notar alguns elementos facilmente identificáveis, como a rede de drenagem identificada pelo seu padrão sinuoso, as diferenças de forma e textura que contrasta as áreas de matas ciliares e as áreas de reflorestamento, cujo padrão é mais retilíneo, as áreas agricultáveis no canto inferior esquerdo, pelo formato de círculo pelo tipo irrigação por pivô central, dentre outros elementos.

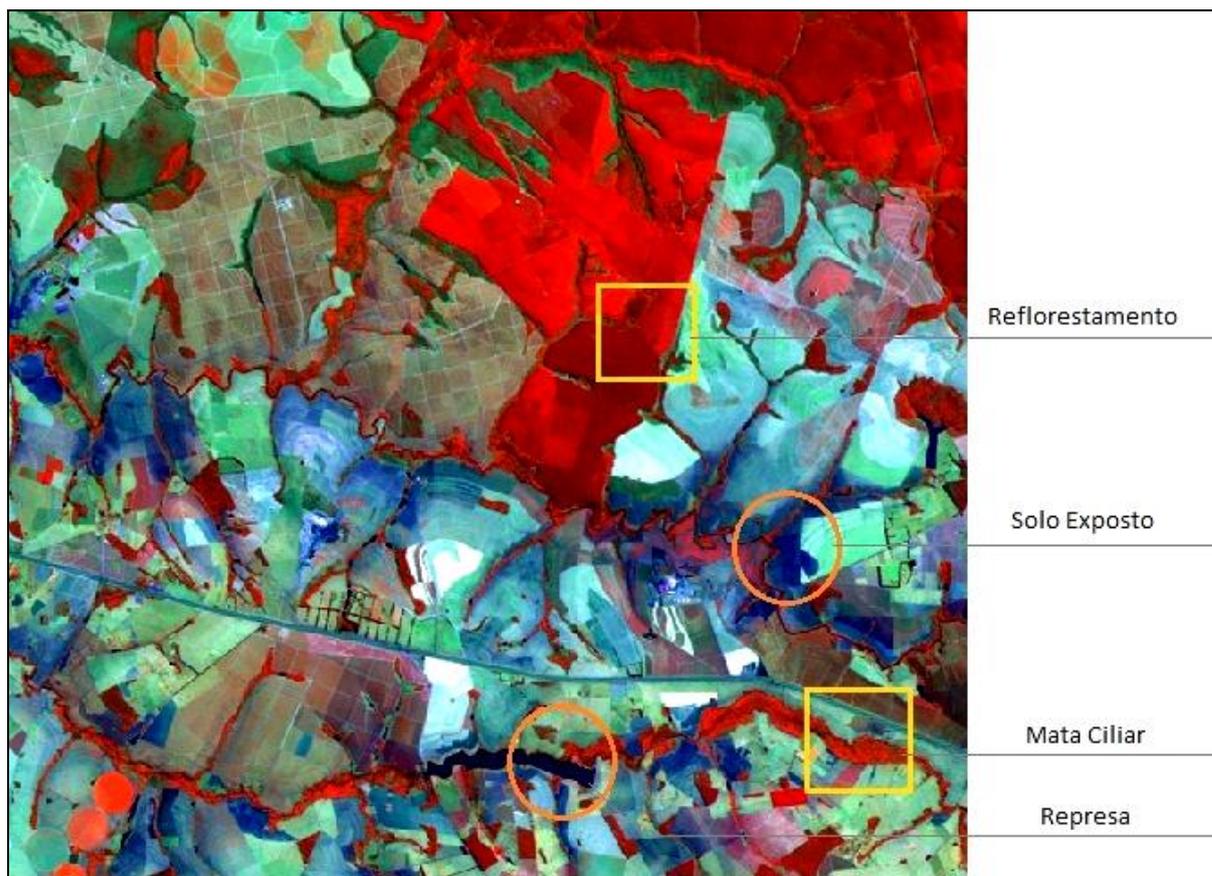


Figura 8. Recorte da composição falsa-cor 453 do alto curso do Rio Pardo (2011).

O importante a ressaltar neste capítulo, é a grande importância da disponibilização dessas imagens que cobrem em totalidade o globo terrestre. Tanto o Landsat 5 como 7 constituem-se como uma fonte contínua, pois se mantêm em atividade, e no caso específico de Landsat 5, este configura-se como um fornecedor em atuação por mais de 28 anos, e estas imagens, assim como de outros satélites que disponibilizam gratuitamente, seja pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), à população em geral, constitui-se em um banco de imagens que pode ser utilizado pelo meio acadêmico em diversas áreas de pesquisas, como na meteorologia, planejamento urbano e na agricultura.

Quanto à análise ambiental, estas podem e são largamente utilizadas, como, por exemplo, para o monitoramento de queimadas, de desastres naturais, para o controle de desmatamentos, dentre outros usos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição Geral do alto curso do Rio Pardo

A região do Médio Paranapanema (UGRH-17) é uma região de grande potencial hídrico regional, sendo dividida em cinco grandes bacias hidrográficas - Pardo, Turvo, Novo, Pari, Capivara e mais os tributários de até 3ª ordem afluentes diretos do Rio Paranapanema. O Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (CBH-MP) é uma das 22 unidades de gerenciamento do Estado de São Paulo determinadas pela Lei 9.034 de 1994. (RELATÓRIO ZERO, 1999)

De acordo com o Relatório Zero (1999), esta região apresenta grande importância agropecuária em relação ao Estado de São Paulo, sendo a produção agrícola dos municípios que fazem parte desta área, muito importante para a economia tanto da região em questão como do Estado. Na Tabela 3 são apresentadas as principais culturas agrícolas encontradas na região do MP.

Tabela 3. Principais culturas agrícolas do Médio Paranapanema em relação ao Estado de São Paulo.

Cultura	Área (ha)	Produção	Representação no Estado (%)
Milho (safrinha)	127.830	347.496	54,79
Milho (verão)	42.700	150.819	5,40
Mandioca para indústria	12.477	241.190	40,05
Soja	166.720	392.076	36,46
Cana-de-açúcar (corte)	126.831	10.491.075	6,58

Fonte: EDR-Assis (1996) Relatório Zero (1999)

A área de estudo deste trabalho (**Figura 9**), localizada entre as cidades de Pardinho, à Leste, e Iaras, à Oeste, pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. Este rio é um dos principais afluentes localizados na região do Médio Paranapanema de acordo com a UGRH-MP, a qual corresponde a uma área que caracteriza significativamente o avanço do agronegócio em detrimento da cobertura vegetal natural.

O alto curso do Rio Pardo abrange uma área de aproximadamente 133.453 ha, e está localizada entre as coordenadas 7.476.686 N, 7.441.725 S, 772.448 E e 687.826 O, na

faixa F do fuso 22 S do sistema UTM (Universal Transversa de Mercator), porção Centro-Oeste do Estado de São Paulo.

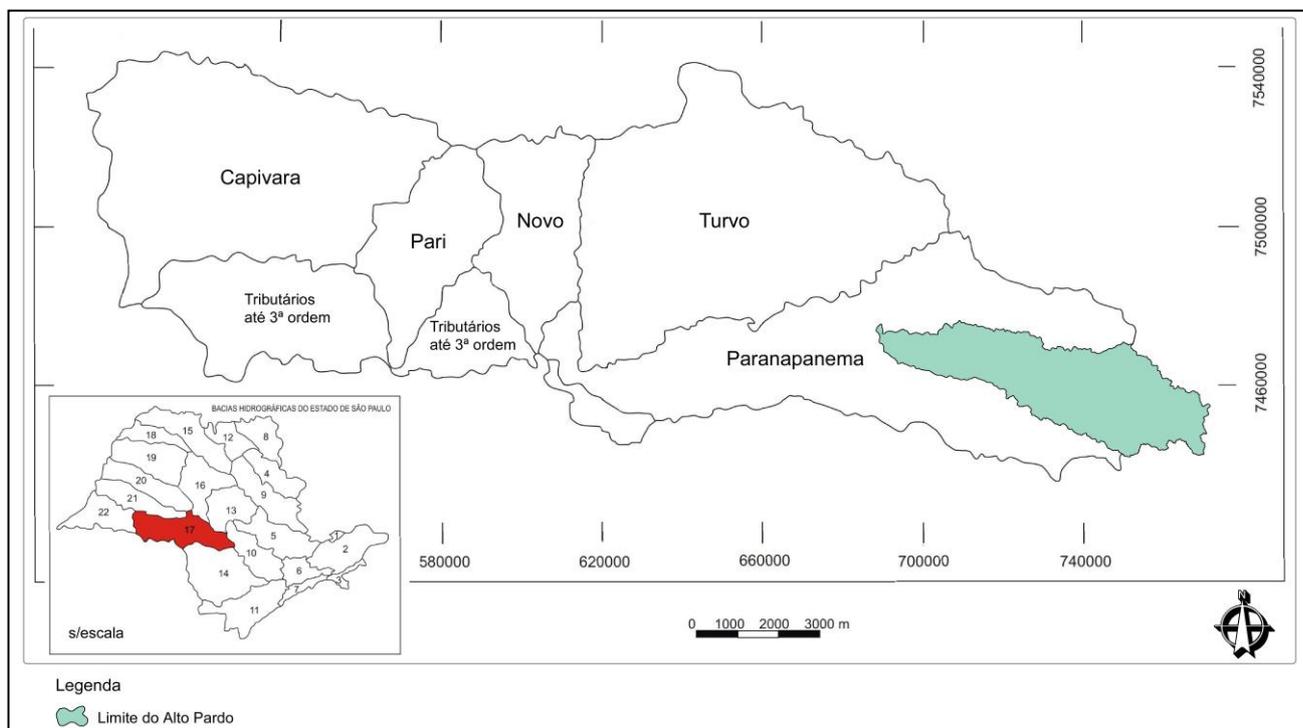


Figura 9. Mapa de Localização da área do alto curso do Rio Pardo - SP.

Fonte: Relatório Zero (1991). Adaptação: Delatorre (2012).

Na área em questão, encontram-se 6 municípios, a saber, Avaré, Cerqueira César, Iaras, Itatinga, Pardinho e Pratânia. (**Figuras 10 e 11**).

Pelo conhecimento adquirido por trabalhos de campo na área de estudo, pela análise de imagens orbitais de alta resolução (*Google Earth*), bem como pelos censos agropecuários, estes apresentados na sequência, pode-se citar, em específico, alguns tipos de cultivos predominantes na região, como, por exemplo, laranja, café, eucalipto, milho e braquiária.

O município de **Avaré**, localizado na porção Sul da área de estudo, com população de 82.652 habitantes (IBGE, 2010), abrange uma área de 100.969,8 ha, desta, 40.672,1 ha é ocupada por pastagens; 23.655,2 ha por culturas temporárias; 15.097,6 ha por reflorestamento; 7.850,7 ha por culturas perenes; e 10.147,4 ha por vegetação natural.

As principais culturas do município são: braquiária (40.316,1 ha); cana-de-açúcar (16.906,8 ha); eucalipto (14.473,7 ha); laranja (6.788,6 ha); e milho (4.300,0 ha).

Localizado na porção Sudoeste da área de estudo, o município de **Cerqueira César**, com uma população 17.532 habitantes (IBGE, 2010), apresenta uma área de 47.244,6 ha (LUPA, 2007), sendo que desta, 18.702,7 ha são ocupados com pastagem; 15.484,5 ha com cultura temporária; 3.058,8 ha cultura perene; 4.022,5 ha reflorestamento; e 3.780,4 ha vegetação natural. O município apresenta predominantemente, culturas como: braquiária (17.556,2 ha), eucalipto (3.718,9 ha), soja (2.761,5 ha), milho (2.449,2 ha), laranja (2.073,0 ha) e cana-de-açúcar (10.703,8 ha), segundo o censo Agropecuário do Estado de São Paulo (LUPA, 2007).

O município de **Iaras**, localizado na porção Oeste da área do alto Pardo, com uma área de 41.378,7 ha (LUPA, 2007), apresenta, de acordo com o censo de 2010 (IBGE) 6.377 habitantes. Em relação à área total do Município, 9.353,6 ha são ocupados com pastagens; 9.312,6 ha com área de reflorestamento; 7.953,9 ha com culturas perenes; 7.027,4 ha com vegetação natural; e 5.385,7 ha com culturas temporárias.

As principais atividades agrícolas do município são: cultivo de laranja, com 7.779,8 ha; eucalipto, com 7.513,8 ha; cana-de-açúcar, com 4.349,3 ha; pinus, com 1.798,3 ha; e braquiária, com 9.267,9 ha (LUPA, 2007).

No caso da de Iaras, há de se fazer uma ressalva, primeiro, pelo histórico de uso e ocupação da região, ocupada por Agroindústrias citrícolas e grupos privados de exploração florestal, segundo, devido ao fato dessa região apresentar um histórico de lutas por reformas agrárias pelo MST (Movimento dos Sem-Terra), o qual possui assentamentos consolidados na região, em terras que antes faziam parte do Núcleo Colonial Monções, criado pelo governo brasileiro próximo ao ano de 1910 e que posteriormente, foram arrendadas de grileiros para grupos privados como a Cutrale e a Lwart (FERNANDES, 2009).

Devido ao não desenvolvimento do projeto do Núcleo, no início da década de 1960, a união buscou repassar estas terras para o governo, visando à instalação de projeto de reflorestamento. Destas terras, parte foi ocupada pelo Instituto Florestal, no entanto, o restante foi arrendado por grupos privados, como, Eucatex e Duratex, que controlam cerca de 60% do Núcleo com a exploração florestal. (FERNANDES, 2009)

Estas questões sociais fazem parte de um histórico tão característico ao Brasil, pela presença constante da exploração da terra por meio da concentração em latifúndios, assim como é o caso dos *belts* modernos concentrados na região Centro-Sul, cujos Estados abarcam a região, então, determinada por Milton Santos (2002), como uma região Concentrada, a qual se configura como o resultado da consolidação dos dados da ciência,

da técnica, da informação e das concentrações desses *belts* de produções como de laranja e cana-de-açúcar. Mas que, no entanto, não é, senão, uma região marcada pelo antagonismo nas relações internas de produção.

O município de **Itatinga**, porção Norte da área de estudo, apresenta uma população de 18.041 habitantes (IBGE, 2010) e abrange uma área de 88.112,6 ha, sendo que desta, são destinados 33.729,9 ha às áreas de reflorestamento; 26.584,9 ha às áreas de pastagens; 15.985,6 ha à vegetação natural; 6.047,5 ha às culturas temporárias; e 3.379,9 ha às culturas perenes. As principais culturas encontradas no município são: eucalipto (32.783,3 ha), braquiária (25.761,5 ha), cana-de-açúcar (3.781,8 ha), laranja (3.158,8 ha) e milho (1.937,5 ha). (LUPA, 2007)

O município de **Pardinho** está localizado na porção Sudeste da área do Alto Pardo, região da nascente do Rio Pardo. Tem uma população de 5.573 habitantes, segundo o censo do IBGE de 2010 e apresenta uma área de 21.210,5 ha. Em relação a este município, 12.574,8 ha estão ocupados por pastagens, 2.768,6 ha por vegetação natural, 2.747,7 ha por culturas temporárias, 1.890,6 ha por culturas perenes e 788,3 ha por áreas de reflorestamento. Sendo as principais culturas encontradas nesta região: braquiária (12.013,8 ha), milho (2.255,6 ha), laranja (1.122,1 ha) e cana-de-açúcar (352,0 ha). (LUPA, 2007)

Pratânia está localizada na porção Nordeste do Alto Pardo. Apresenta uma população de 4.595 habitantes e uma área de 21.749,2 ha. Desta área, 9.408,4 ha são destinados às culturas temporárias; 5.939,3 ha às áreas de pastagem; 1.861,1 ha às áreas de reflorestamento; 1.819,0 ha às culturas perenes; e 1.769,3 ha à cobertura de vegetação natural. Os principais cultivos encontrados na região são: cana-de-açúcar (8.455,4 ha), braquiária (5.701,0 ha), eucalipto (1.710,1 ha) e laranja (1.077,0 ha).

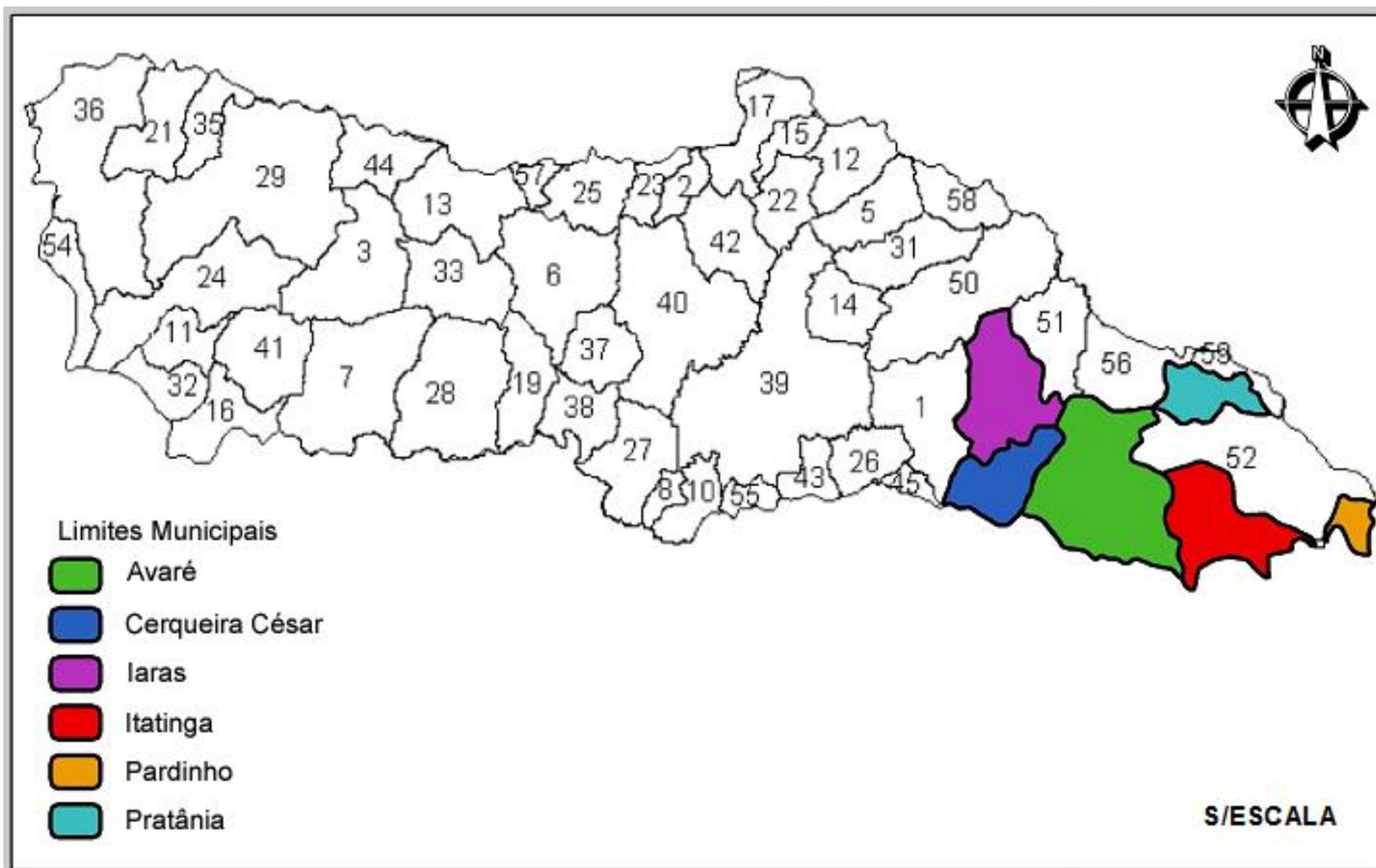


Figura 10. Mapa simplificado da localização e limite dos municípios pertencentes à área do Alto Pardo (SP).

Fonte: Relatório Zero (1999). Adaptação: Delatorre (2012)

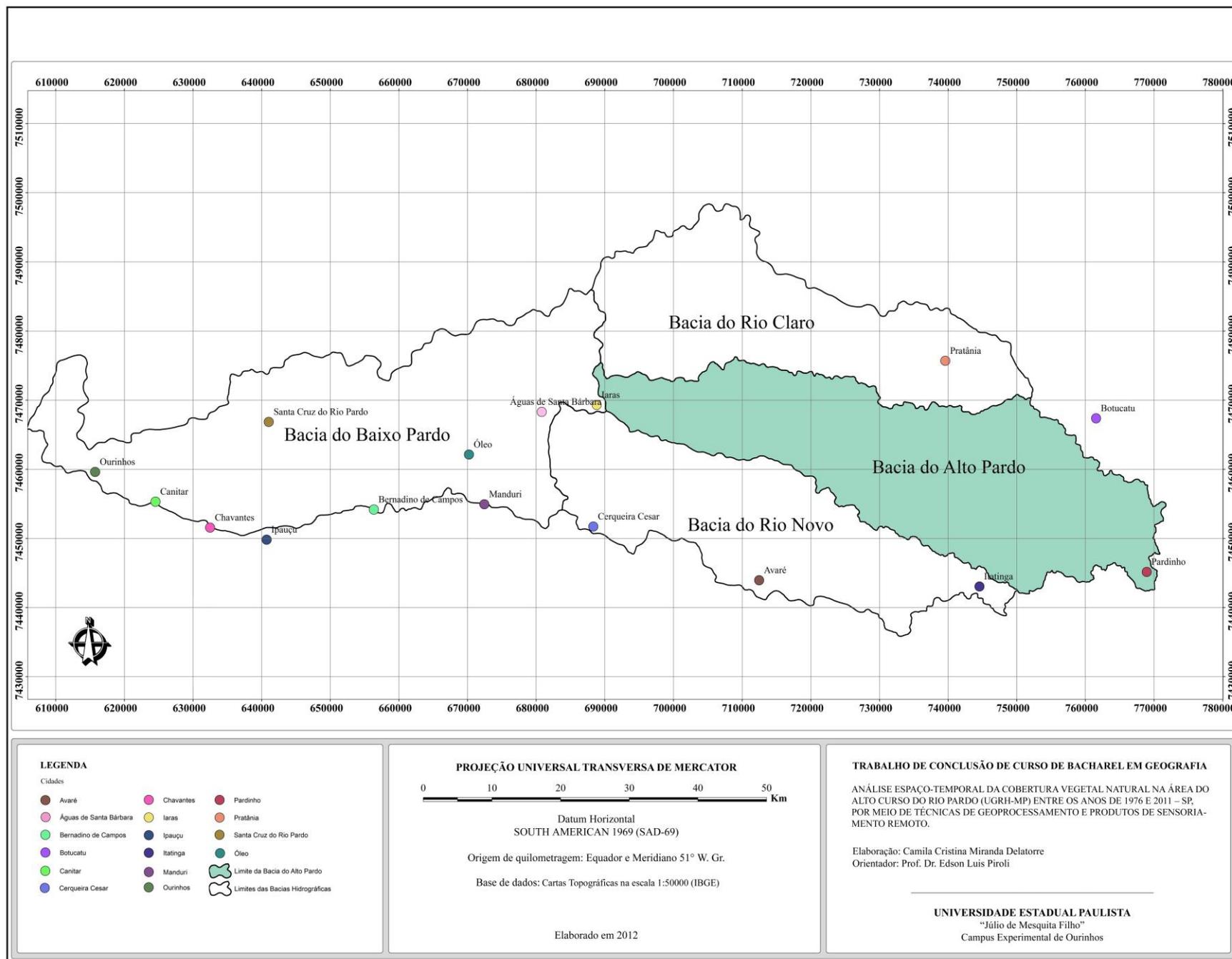


Figura 11. Mapa de localização das cidades em relação à área de estudo.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região se enquadra no tipo climático Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude, ou seja, clima temperado quente (mesotérmico), com chuvas durante o verão, e seca no inverno, e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C.

A vegetação nativa da bacia do Rio Pardo, Estado de São Paulo, é a Mata Atlântica de Interior, unidade fitogeográfica denominada de Floresta Estacional Semidecidual, ou também conhecida por Floresta Tropical Subcaducifolia.

Floresta Estacional Semidecidual é caracterizada pela influência da estacionalidade climática (verão chuvoso e inverno seco ou, também clima subtropical sem seca, porém apresentando intenso frio, com temperaturas médias abaixo de 15°C) e pela queda das folhas durante o período seco, em 20 a 50% das árvores caducifolias da floresta. Contudo, estas florestas estacionais semidecíduas correspondem a pequenos fragmentos localizados em propriedades privadas. (IBGE, 1991)

Floresta Ciliar: As florestas ciliares envolvem todos os tipos de vegetação arbórea vinculada à beira dos corpos hídricos, ocorrendo, portanto, de uma forma ou de outra, em todos os domínios morfoclimáticos e fitogeográficos do país. Entretanto, estas florestas apresentam variações em suas composições taxonômicas, conforme o domínio, a região e mesmo a altitude em que se encontram. (RODRIGUES e LEITÃO FILHO, 2009)

Quanto às características da rede de drenagem, esta sofre variações no sentido Leste-Oeste, em função das características geomorfológicas e litológicas da área de estudo. A drenagem é densa na porção Leste, na região do Planalto Residual de Botucatu, especificamente nas áreas das cidades de Pratânia, Itatinga, Pardinho e parte Oeste da área urbana da cidade de Botucatu, tornando-se de média a baixa densidade, como pode ser constatada na **Figura 12**, em direção à porção Oeste da área.

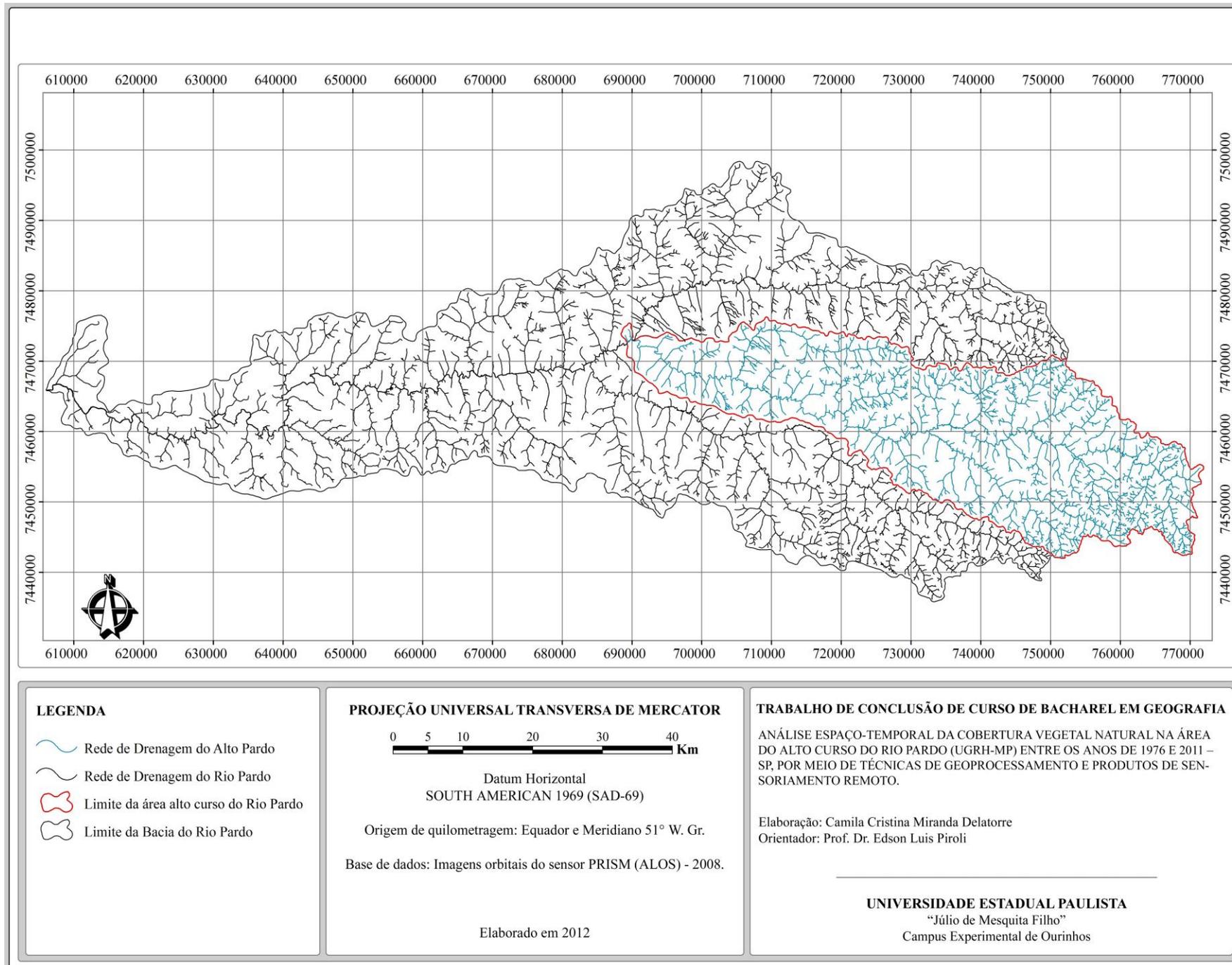


Figura 12. Mapa da Rede de hidrográfica com destaque à área do alto curso do Rio Pardo (SP).

Na área de estudo, pode-se observar diferentes tipos de exploração dos recursos naturais, tanto para a obtenção de energia com a construção de Usinas Hidrelétricas, para o uso na agricultura, seja no latifúndio ou em pequenas propriedades ou mesmo para o consumo doméstico das populações citadinas que cada vez mais, estão se concentrando nas margens desses rios. Estas situações descritas podem ser constatadas pelas imagens de alta resolução do satélite Quick Bird, apresentadas na sequência. (Figuras 13, 14, 15, 16 e 17)



Figura 13. Ocupação urbana próxima aos córregos da microbacia do Ribeirão da Serra D'água, Rio Pardo, no município de Botucatu.
Fonte: GEOEYE, Google Earth (2010)

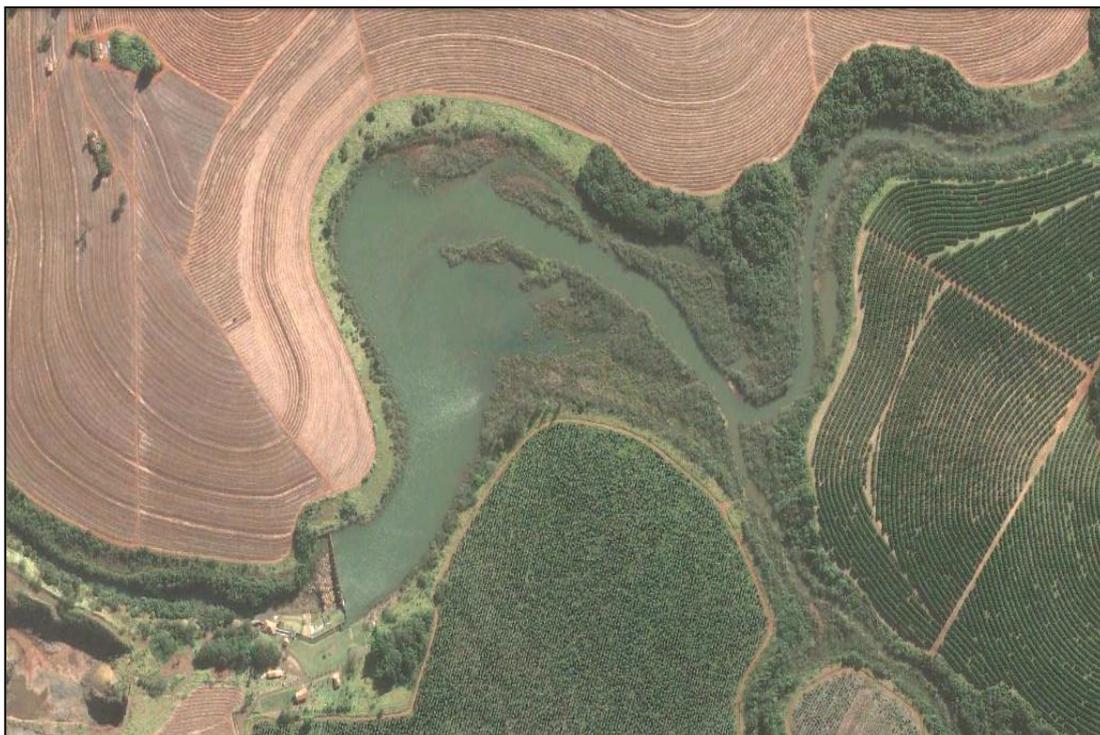


Figura 14. Usina Hidrelétrica do Salto do Lobo (Itatinga).
Fonte: GEOEYE, Google Earth (2010)



Figura 15: Barragem da Usina Hidrelétrica do Salto do Lobo (Itatinga).
Fonte: J.Roberto B. Lamoso (2009)



Figura 16. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), município de Botucatu.

Fonte: GEOEYE, Google Earth (2010)



Figura 17. Cultura de eucalipto na Subacia do Rio Palmital, Rio Pardo, em Iaras (SP).

Fonte: GEOEYE, Google Earth (2010)

Segundo o Relatório Zero (1999) embasado no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo na escala 1:500.000, a área do Alto Pardo, pertence à unidade morfoescultural do Planalto Ocidental Paulista da Bacia Sedimentar do Paraná, a qual ocupa praticamente 50% da área total do Estado de São Paulo. A Bacia do Paraná, unidade geotectônica, por sua persistente subsidência, favoreceu o acúmulo de grande espessura de sedimentos, lavas basálticas e sills de diabásio, os quais contribuíram para a intensificação do processo de empenamento das áreas periféricas da bacia.

No Planalto Ocidental, o relevo apresenta-se geralmente, levemente ondulado, com predomínio de colinas amplas e baixas de topos aplainados, realidade esta encontrada a Oeste do Alto Pardo, rumo ao interior da morfoestrutura da Bacia Sedimentar do Paraná. Neste Planalto, encontram-se distintas variações fisionômicas regionais que possibilitaram a delimitação de unidades geomorfológicas. No mais, para a região do Médio Paranapanema, são observadas três unidades, Planalto Residual de Marília¹¹ e de interesse para este trabalho, o Planalto Centro Ocidental, no qual quase em totalidade está situada a área de estudo e o Planalto Residual de Botucatu, limite Leste da mesma.

A unidade morfoescultural do Planalto Residual de Botucatu encontra-se no reverso da Cuesta do interflúvio Tietê-Paranapanema, limite da Bacia Sedimentar do Paraná, entre o Planalto Centro-Ocidental e a Depressão Periférica Paulista. Na região do Médio Paranapanema, esta unidade ocorre em pequenas áreas na porção Sudeste, abrangendo as cidades de Pardinho, Pratânia, Avaré, nas cabeceiras do Rio Novo e Rio Pardo. (RELATÓRIO ZERO, 1999) Esta unidade possui relevos cuestiformes¹², com camadas monoclinais¹³ mergulhadas no sentido interior da bacia, o desenvolvimento e recuo das vertentes da cuesta ocorrem devido à erosão diferencial, com a predominância do basalto da Formação Serra Geral, de maior resistência litológica, sobre o arenito da Formação Botucatu, formando assim, os relevos residuais de corpos de morfologia característica em se tratando de arenitos,

¹¹ Unidade geomorfológica de ocorrência no centro da Bacia Sedimentar do Paraná, com relevos residuais do tipo tabuliformes que se constituem pela presença de camadas rochosas horizontalizadas, resultantes do processo de erosão diferencial.

¹² Os relevos do tipo *cuestiformes* encontram-se associados a estruturas sedimentares, com ou sem intercalações de estratos basálticos e se formam em áreas de estruturas concordantes inclinadas, nas periferias das bacias sedimentares, onde o contato litológico facilita a ação da erosão remontante.

¹³ Camadas monoclinais são camadas superpostas, levemente inclinadas em um só sentido.

espalhados em zonas de grandes planícies nas proximidades da cuesta, ou então denominados por morros testemunhos de um paleo relevo.

Em resumo, nessas pequenas áreas são encontradas formas de relevo denudacionais, constituindo-se por colinas com topos amplos ou topos tabulares, onde predominam declividades médias a altas, entre 10% e 20% e com altimetrias que variam entre 600 e 900 metros. No mais, a área é susceptível a atividades erosivas, sobretudo em áreas de maior declividade, e ao aliar a esta susceptibilidade natural, práticas de uso e ocupação inadequadas, este quadro pode se tornar um agravante para a qualidade ambiental.

Assim, de acordo com Casset (2005, p.1):

O relevo assume importância fundamental no processo de ocupação do espaço, fator que inclui as propriedades de suporte ou recurso, cujas formas ou modalidades de apropriação respondem pelo comportamento da paisagem e suas consequências.

Com base no mapa Geológico do Estado de São Paulo, na escala 1:500.000 (IPT, 1981), no caso deste estudo é de interesse abordar os Grupos em que está inserida a área de estudo desse trabalho, portanto, quanto às Unidades Litoestratigráficas, tratam-se especificamente do Grupo São Bento e Grupo Bauru.

Grupo São Bento

- a) **Formação Serra Geral (JKsg):** composta por rochas vulcânicas toleíticas encontradas em derrames basálticos, apresenta uma coloração que vai de cinza a negra. Possui uma textura afanítica, com intercalações de arenitos intertrapianos, fino a médios, de estratificação cruzada tangencial e esparsos níveis vitrofíricos não individualizados.

Grupo Bauru

- b) **Formação Adamantina (Ka):** constituída por depósitos fluviais com predominância de arenitos finos e muito finos, apresentando cimentação e nódulos carbonáticos, com lente de silitos arenosos e argilitos, encontrados em bancos maciços. Estratificação plano-paralela e cruzada de pequeno a médio porte.
- c) **Formação Marília (Km):** constituída por Arenitos de granulação fina a grossa, compreendendo bancos maciços com tênues estratificações cruzadas de

médio porte, apresenta também lentes e intercalações subordinadas de siltitos, argilitos e arenitos muito finos com estratificação plano-paralela e frequentes níveis rudáceos. com presença comum de nódulos carbonáticos.

Segundo o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (escala 1:500.000) realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), a área de estudo apresenta as seguintes classes de solos, conforme a classificação: Latossolo Vermelho- Escuro (latossolos roxos, latossolos vermelho-escuro); Nitossolo Vermelho (terras roxas estruturadas); Argissolo Vermelho-Amarelo (podzólicos vermelho-amarelo).

4.2 Materiais

- No total foram utilizadas 7 (sete) cartas topográficas digitalizadas na escala 1:50.000 editadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo estas apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Cartas Topográficas (IBGE) da área de estudo.

Carta Topográfica	Índice de Nomenclatura
Santa Bárbara do Rio Pardo	SF-22-Z-B-IV-4
Rio Palmital	SF-22-Z-B-V-3
Avaré	SF-22-Z-D-II-1
Pratânia	SF-22-Z-B-V-4
Itatinga	SF-22-Z-D-II-2
Botucatu	SF-22-R-IV-3
Bofete	SF-22-Z-D-III-1

- Imagens orbitais do satélite Lansat 5 sensor TM (Thematic

Mapper) para os anos de 1985 e 2011, bandas 3 (0,63 a 0,69 μm), 4 (0,76 a 0,90 μm) e 5 (1,55 a 1,75 μm), e Landsat 2 sensor MSS para o ano de 1976, bandas 4 (0,5 - 0,6 μm), 5 (0,6 - 0,7 μm) e 6 (0,7 - 0,8 μm) com resoluções espaciais, respectivamente de 30 metros e 80 metros (**Tabela 5**), e imagens QuickBird consultadas no Google Earth com resolução de 0,61 m.

Tabela 5. Imagens orbitais dos satélites Landsat 2 e 5.

Ano	órbita/ponto	Data da imagem
1976	237/076	10 de Novembro
	236/076	9 de Novembro
1985	221/076	1 de Agosto
	220/076	13 de Agosto
2011	221/076	26 de Setembro
	220/76	19 de Setembro

- *Software Adobe Photoshop* utilizado para pequenas transformações nas imagens e finalização dos mapas.

Os Sistemas de Informações Geográficas utilizados, como também as etapas executadas em cada SIG, estão descritos na sequência:

- Idrisi Taiga, desenvolvido pela *Graduate School of Geography da Clark University*: foi utilizado no processo de geração dos mosaicos e de classificação das imagens orbitais;
- ArcGIS versão 9.3.1.: utilizado para realizar o processo de georreferência das imagens orbitais, vetorização da rede de drenagem, correção das classificações, bem como para a produção final dos mapeamentos.

4.3 Procedimentos metodológicos

4.3.1 Preparação da base de dados

4.3.1.1 Obtenção das imagens de satélite

A priori, além de ter sido realizado uma série de levantamentos bibliográficos que serviram de base para toda a estrutura do trabalho, foram feitos outros procedimentos de pesquisas, tais como, um levantamento completo de todas as imagens disponibilizadas pelo INPE das imagens orbitais do satélite Landsat 5 sensor TM (*Thematic Mapper*) até os dias atuais, como pode ser constatado no **Anexo 1**.

A forma de organização adotada neste trabalho foi imprescindível para a seleção de um período específico de estudo, ou seja, a escolha de um período para as seis cenas que se mantivesse dentro do intervalo de três meses de diferença entre as imagens, e assim, minimizar os problemas quanto à identificação dos alvos.

Outro ponto a destacar, é quanto à escolha das bandas a serem trabalhadas. Para a seleção destas, considerou-se todos os dados bibliográficos levantados durante a elaboração desse trabalho, tal como as informações disponibilizadas pelo INPE (**Tabela 6**). E tendo por conhecimento adquirido sobre o comportamento espectral da vegetação em relação a sua resposta ao intervalo do espectro eletromagnético em especial, os estudos realizados por Ponzoni (2009), neste caso, foram selecionadas, para as imagens do Landsat 5- TM as bandas 3 (0,630 - 0,690 μm), 4 (0,760 - 0,900 μm) e 5 (1,550 - 1,750 μm), bandas mais comumente usadas em trabalhos acadêmicos e para as imagens do Landsat 2 MMS, foram selecionadas as bandas 4 (0,5 - 0,6 μm), 5 (0,6 - 0,7 μm) e 6 (0,7 - 0,8 μm). (**Tabelas 7 e 8**)

Tabela 6. Características das bandas do satélite Landsat 5 sensor *Thematic Mapper*.

Bandas	Características
3 e 4	Define melhor os limites entre o solo e a água, ainda mantendo algum detalhe em águas pouco profundas, e mostrando as diferenças na vegetação.
5	Mostra mais claramente os limites entre o solo e a água, com a vegetação mais discriminada.

Fonte: INPE (http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/ATUS_LandSat.php). Acesso em 15 de Fev. de 2012

Tabela 7. Bandas espectrais do sensor *Multi Spectral Scanner* (MMS) do Landsat 2.

Banda	Resolução Espectral (μm)
4	0,5 - 0,6
5	0,6 - 0,7
6	0,7 - 0,8
7	0,8 - 1,1
8	10,4 - 12,6

Fonte: JENSEN (2009)

Tabela 8. Bandas espectrais do sensor *Thematic Mapper* (TM) do Landsat 5

Banda	Resolução Espectral (μm)
1	0,45 a 0,52 (azul)
2	0,52 a 0,60 (verde)
3	0,63 a 0,69 (vermelho)
4	0,76 a 0,90 (infravermelho próximo)
5	1,55 a 1,75 (infravermelho médio)
6	10,4 a 12,5 (infravermelho termal)
7	2,08 a 2,35 (infravermelho distante)

Fonte: JENSEN (2009)

4.3.1.2 Geração das composições falsa-cor

A partir das imagens Landsat-5 sensor *Thematic Mapper* foi gerada uma composição falsa-cor com as bandas 3, 4 e 5 e para as imagens do Landsat 2, bandas 4, 5 e 6 dando um maior enfoque às florestas. Para tanto, a banda do infravermelho próximo, foi associada, no sistema R (red) G (green) B (blue), à cor vermelha, o que facilitou sobremaneira, na identificação de tais feições. Quanto à composição com as bandas do satélite Landsat 2 *Multi Spectral Scanner*, a banda do infravermelho próximo foi associada à cor verde, para facilitar a visualização das florestas, devido à baixa resolução espacial das imagens de 80 metros. (Anexos 2, 3 e 4)

A geração das composições foi realizada no Idrisi Taiga pelo módulo “*Composite*”, para posteriormente efetuar o processo de georreferência destas

imagens, para tanto estas foram exportadas no formato GEOTIFF/TIFF e importadas no SIG ArcGIS 9.3.

4.3.1.3 Geração da base vetorial

Os vetores da rede hidrográfica foram feitos com base nas imagens pancromáticas do satélite ALOS, devido a uma melhor qualidade em relação ao nível de detalhamento, que não seria possível conseguir com a vetorização com base nas feições de imagens com resolução de 30 metros.

Contudo, um problema constatado durante a definição dos parâmetros para a etapa da delimitação das Áreas de Preservação Permanente foi uma situação de incompatibilidade encontrada nas Leis. A revogação do Art 2º, o qual definia estas áreas, pela Lei nº 9.985/00, criou uma “lacuna legislativa” para estas áreas previstas no Art. 2º do Código Florestal¹⁴.

De acordo com a Medida Provisória nº 2166-67, de 24 de Agosto de 2001, Área de Preservação Permanente é a “ área protegida nos termos dos Arts. 2º e 3º desta Lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental 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;”

Para tanto, apesar dos conflitos entre a redação do Código Florestal e redação das Resoluções do CONAMA, optou-se quanto aos corpos hídricos, por estas. Portanto, para a delimitação das APPs seguiu-se os parâmetros, definições e limites das Resoluções nº 302/02 e 303/02.

Quanto às Áreas de Preservação Permanente ao longo dos cursos d'água, nascentes e lagoas naturais:

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;

¹⁴ Art. 2º do Código Florestal revogado pelo art. 18 da Lei nº 6.938/81 e este pelo art. 60 da Lei nº 9.985/00

- 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;
- 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;
- 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; (RESOLUÇÃO CONAMA nº 303, 2002)

Quanto às Áreas de Preservação Permanente no entorno dos reservatórios artificiais.

- Art 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área com largura mínima, em projeção horizontal, no entorno dos reservatórios artificiais, medida a partir do nível máximo normal de:
- I - trinta metros para os reservatórios artificiais situados em áreas urbanas consolidadas e cem metros para áreas rurais;
 - II - quinze metros, no mínimo, para os reservatórios artificiais de geração de energia elétrica com até dez hectares, sem prejuízo da compensação ambiental.
 - III - quinze metros, no mínimo, para reservatórios artificiais não utilizados em abastecimento público ou geração de energia elétrica, com até vinte hectares de superfície e localizados em área rural. (RESOLUÇÃO CONAMA Nº 302, 2002)

4.3.1.4 Georreferenciamento

O processo de reamostragem foi realizado pelo método vizinho mais próximo, no SIG ArcGIS 9.3. Este processo consiste na atribuição do valor do nível de cinza de dado pixel da imagem reamostrada ao pixel da imagem original que estiver mais próximo a este. A imagem do satélite ALOS sensor PRISM (resolução espacial de 2,5 m) a qual foi tomada como base para o processo de reamostragem do mosaico, pertence ao banco de dados georreferenciados do projeto regular financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), sob responsabilidade do Prof. Dr. Edson Luis Piroli, o qual cedeu estas informações para a realização deste trabalho. Para a georreferência, adotou-se a projeção Universal

Tranversa de Mercator e como sistema de referência o datum South American Datum (SAD-69).

A priori, a base das coordenadas associadas às imagens orbitais do sensor PRISM, procedeu da georreferência das cartas topográficas do IBGE apresentadas. Para cada carta, foram selecionados 30 pontos de controle da malha UTM, sendo estes distribuídos uniformemente. O Erro Médio Quadrático de cada carta está representado na **Tabela 9**, apresentada na sequência.

Tabela 9. Erro Médio Quadrático para as cartas topográficas da área do Alto Pardo.

Carta Topográfica	Índice de Nomenclatura	Erro Médio Quadrático (m)
Santa Bárbara do Rio Pardo	SF-22-Z-B-IV-4	1,8
Rio Palmital	SF-22-Z-B-V-3	1,8
Avaré	SF-22-Z-D-II-1	1,7
Pratânia	SF-22-Z-B-V-4	1,7
Itatinga	SF-22-Z-D-II-2	1,8
Botucatu	SF-22-R-IV-3	1,8
Bofete	SF-22-Z-D-III-1	1,7

A partir das coordenadas destas cartas topográficas, foram georreferenciadas as imagens orbitais mosaicadas do satélite ALOS, sensor PRISM. No total foi selecionado, para os dois mosaicos, um total de aproximadamente, 80 pontos de controle.

Assim, com base nas imagens pancromáticas georreferenciadas do sensor PRISM, procedeu-se com a associação das coordenadas originais das imagens Landsat às coordenadas dessas imagens ALOS por meio de pontos de controle encontrados em ambas as imagens. A quantidade de pontos e o erro médio tido para cada imagem estão representados na **Tabela 10**.

Tabela 10. Imagens orbitais do satélite Landsat 5 (TM) e 2 (MSS) e o Erro Médio Quadrático para cada imagem.

Ano	Sensor	Órbita/ponto	Pontos de Controle	Erro Médio Quadrático (m)
1976	MSS	237/076	43	8,12
		236/076	37	10,31
1985	TM	221/076	48	7,54
		220/076	45	8,22
2011	TM	221/076	54	7,38
		220/76	51	7,89

Na sequência, as composições georreferenciadas foram separadas em bandas (módulo *Separate*), para poderem ser mosaicadas, como também utilizadas no processo de classificação.

Após ter sido feita a georreferência das imagens Landsat, estas foram importadas no SIG Idrisi Taiga, novamente foram definidos os limites para o recorte da área de estudo, de modo que abrangesse uma porção significativa referente às diversas variedades de usos constatados na área de estudo, mas que no entanto, posteriormente, no processo de classificação, não prejudicasse a qualidade do produto final da mesma.

A etapa de geração dos mosaicos, foi feita no módulo "*Mosaic*" com as bandas separadas, assim, gerou-se três mosaicos das bandas do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, de cada ano de estudo. Ou seja, para o ano de 2011, foram utilizadas as imagens com órbitas/ponto 221/076 de 26 de Setembro e 220/076 de 19 de Setembro; para o ano de 1985, imagens com órbitas/ponto 221/076 de 01 de Agosto e 220/076 de 13 de Outubro; e para as imagens do Landsat 2 MSS, do ano de 1976, imagens com órbitas/ponto 237/076 de 10 de Novembro e 236/076 de 09 de Novembro. Tendo os mosaicos para cada banda de cada período de estudo, foram geradas novamente as composições coloridas para iniciar o processo de seleção das classes de treinamento para as classificações.

Para o recorte do limite da área do Alto Pardo, foi gerada uma imagem de valor zero (módulo *Initial*), sobre a qual rasterizou-se o limite da área (módulo *RasterVector*) e na sequência, efetuou-se a multiplicação entre a imagem do limite rasterizado e as composições falsa-cor mosaicadas (módulo *Overlay*) para recortar a área de estudo.

4.3.2 Método de classificação das imagens

Nesta etapa, foram utilizados dois tipos de classificadores, devido aos problemas de identificação dos alvos nas imagens do Landsat 2 com resolução espacial de 80 metros.

Para as imagens de 1985 e 2011, utilizou-se o método de classificação supervisionada, enquanto para a imagem do satélite Landsat 2-MSS, foi utilizado o método de classificação não-supervisionada.

Com base nas composições falsa-cor de 2011 e 1985, foram vetorizadas classes de treinamento representativas com a criação de assinaturas espectrais para cada uso constatado (módulo *Makesig*), para posteriormente, aplicar o algoritmo classificatório supervisionado, neste caso, foi utilizado o algoritmo máxima verossimilhança (módulo *MAXVER*). Nesta etapa, para cada classe determinada definiu um limite mínimo de 9 amostras por classe, com o intuito de tornar a classificação mais apurada possível. Contudo, como o enfoque é analisar as áreas de vegetação natural, foram selecionadas preferencialmente amostras destas áreas. No passo seguinte, foi aplicado filtro de moda 5 x 5 (módulo *Filter*) para eliminar pequenos erros de classificação, sem, contudo, generalizar o resultado final.

Tendo estas imagens classificadas, realizou-se uma reclassificação destas (módulo *Reclass*), com o intuito de selecionar as classes de interesse, neste caso as de vegetação natural. Neste ponto, foram excluídas as demais classes, deixando somente as classes, 1. Florestas; 2. Área de banhado; 3. Mata ciliar; e 4. Campestre (IBGE, 2006). Após esta etapa, estas classes foram convertidas em vetores (módulo *Raster/Vector*), separando-as em distintos arquivos. Na sequência estes foram exportados no formato *shapefile* (.shp), formato compatível com o SIG ArcGIS 9.3.

Assim, tendo os arquivos do tipo *shapefile* de cada classe, com base nas

composições dos mosaicos, estes vetores foram editados, de modo a corrigir os erros de classificação das classes de interesses, e assim, esses vetores foram agrupados em um único arquivo, denominado de vegetação natural. Este processo de correção por vetores foi realizado em todas as composições coloridas dos mosaicos.

Para a classificação do mosaico de 1976, em função da baixa resolução espacial da imagem Landsat 2-MSS, foi utilizado o classificador não-supervisionado “*Cluster*” do Idrisi Taiga, para o qual foi estabelecido o número de classes, definidas previamente, com a interpretação da composição falsa-cor 564.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise do estado de conservação da vegetação natural no alto curso do Rio Pardo (1976 – 2011)

Neste capítulo será realizada uma avaliação dos resultados obtidos durante esta pesquisa, de modo a avaliar a atual situação de degradação das vegetações naturais na área do Alto Pardo.

O mapeamento foi realizado para três períodos distintos (1976, 1985 e 2011), com o intuito de comparar tais períodos e constatar se houve alterações significativas na cobertura vegetal natural, sejam nas Áreas de Preservação Permanente ou Reservas Legais, estas conforme o Código Florestal (Lei nº 4.771/65) e as Resoluções CONAMA 302/02 e 303/03.

Pela análise dos resultados descritos na **Tabela 11**, pode-se constatar uma significativa perda de cobertura vegetal natural entre os anos de 1976 e 2011. Para o primeiro período analisado, com um intervalo de 10 anos entre 1976 e 1985, esta perda foi de aproximadamente 2,5% (3446,3 ha) em relação à área de estudo, enquanto para o segundo período analisado, com um intervalo de 26 anos entre 1985 e 2011, foi de 8,08%.

Tabela 11. Total da área coberta por vegetação natural em relação à área total do Alto Pardo para os anos de 1976, 1985 e 2011.

Área Total do alto curso do Rio Pardo (ha)	Ano	Área ocupada por vegetação natural (ha)	Área ocupada por vegetação natural (%)
133.453,1	1976	33.307,5	24,90
	1985	29.861,2	22,40
	2011	19.071,6	14,30

Na sequencia são apresentados os Gráficos de coluna (em hectares) e linha (em porcentagem) que ilustram esta perda ao longo dos anos analisados (Figuras 18 e 19).

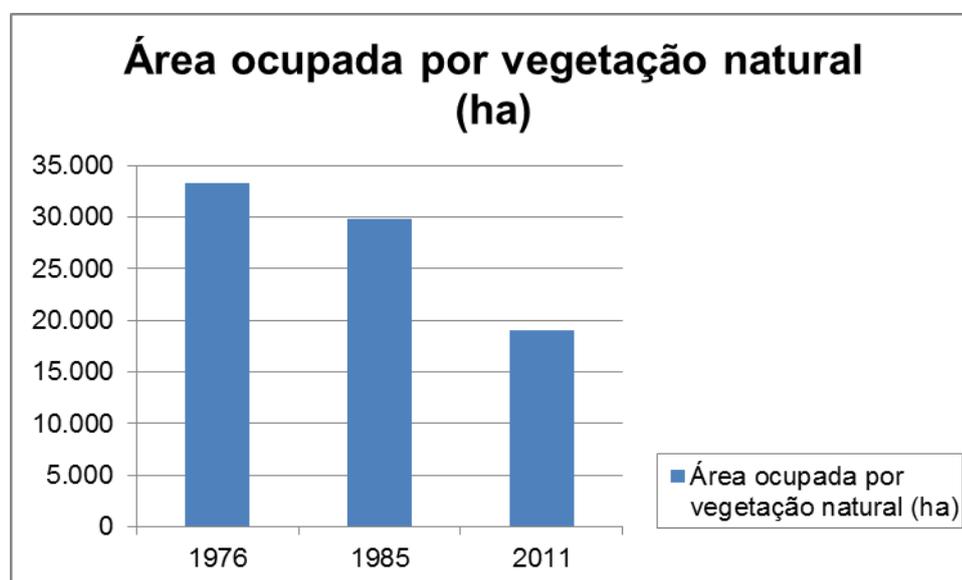


Figura 18. Gráfico das alterações na área ocupada por vegetação natural no Alto Pardo, de 1976 a 2011.

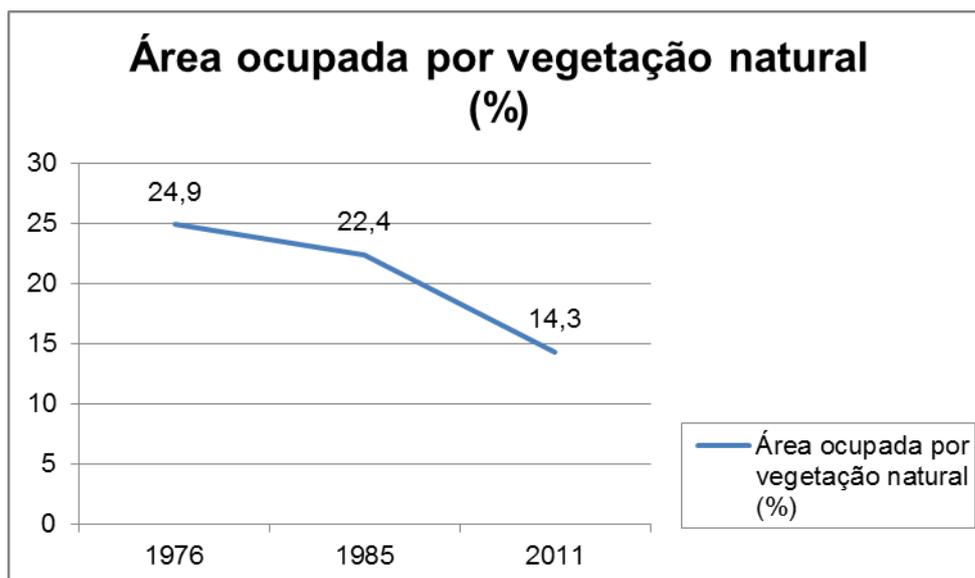


Figura 19. Gráfico das alterações na área ocupada por vegetação natural no Alto Pardo, de 1976 a 2011.

Pala análise do mapa da cobertura vegetal natural para o ano de 1976 (**Figura 22**) observa-se principalmente na porção Noroeste do Alto Pardo, na subacia do Rio Palmital uma área significativa de vegetação natural, assim como na porção Centro-oeste, no Ribeirão da Divisa (**Figura 20**), porção central ao longo do Rio Pardo e no Ribeirão das Pedras, subacia esta que representa um dos principais afluentes da área do Alto Pardo.

Contudo, como pode ser constatado pela imagem, nas áreas de cabeceira, porção Leste da área (**Figura 21**), apresenta considerável ausência de cobertura vegetal, o que torna esta área mais susceptível aos processos erosivos, principalmente por ser uma região onde predominam declividades médias a altas, entre 10% e 20% e com altimetrias que variam entre 600 e 900 metros.

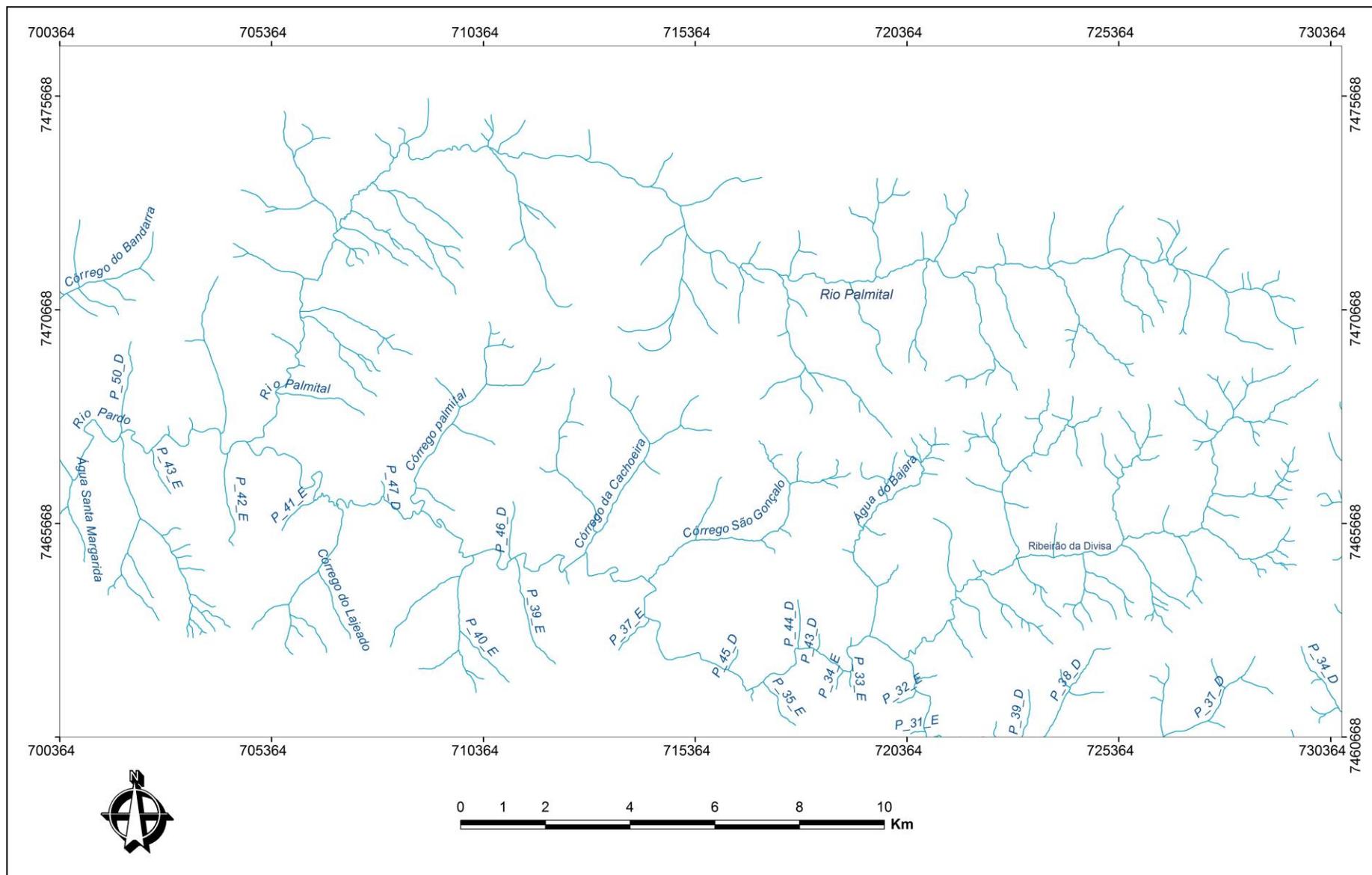


Figura 20. Hidrografia do Alto Pardo, porção Centro-oeste.

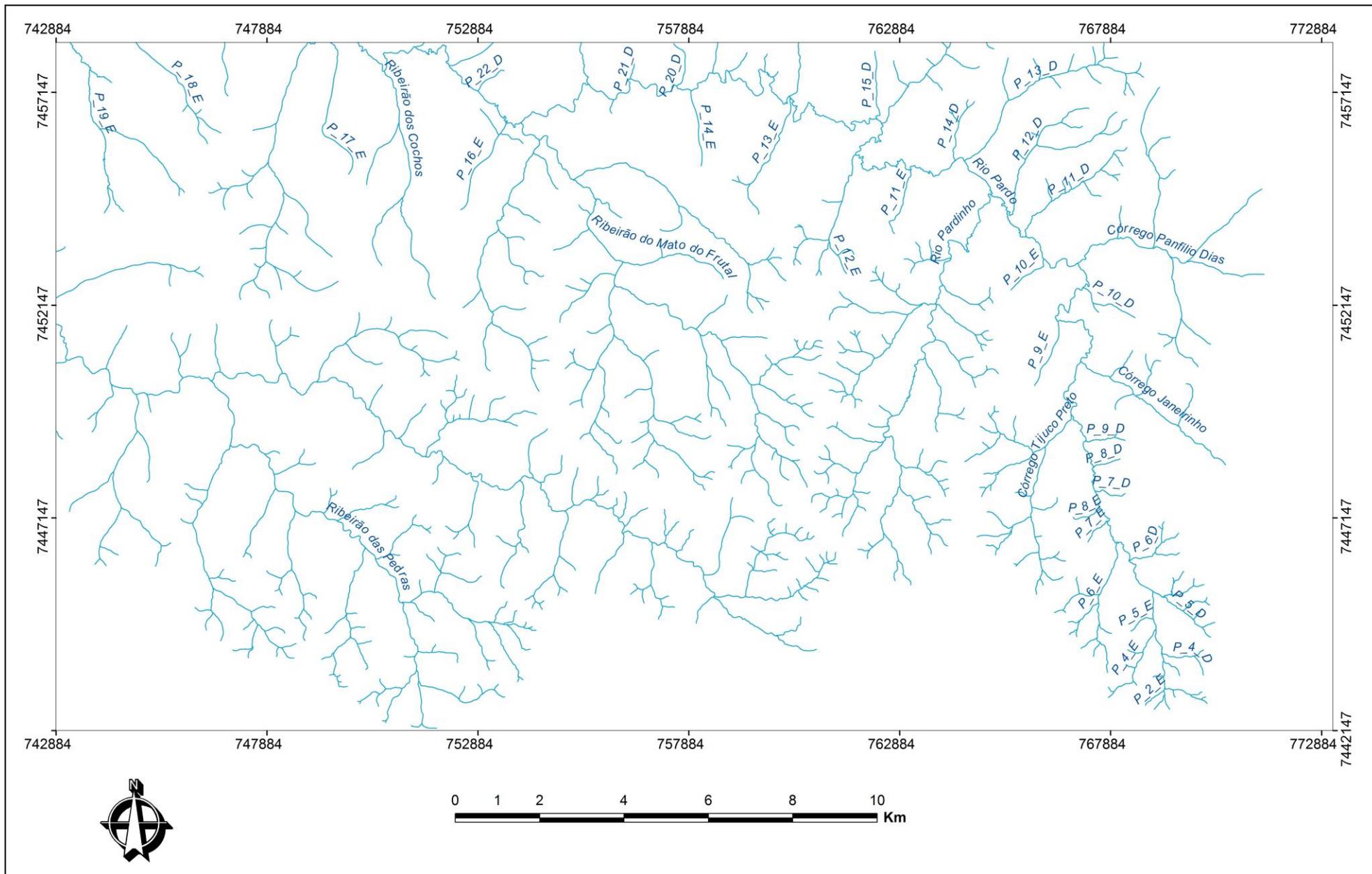


Figura 21. Hidrografia do Alto Pardo, porção Leste.

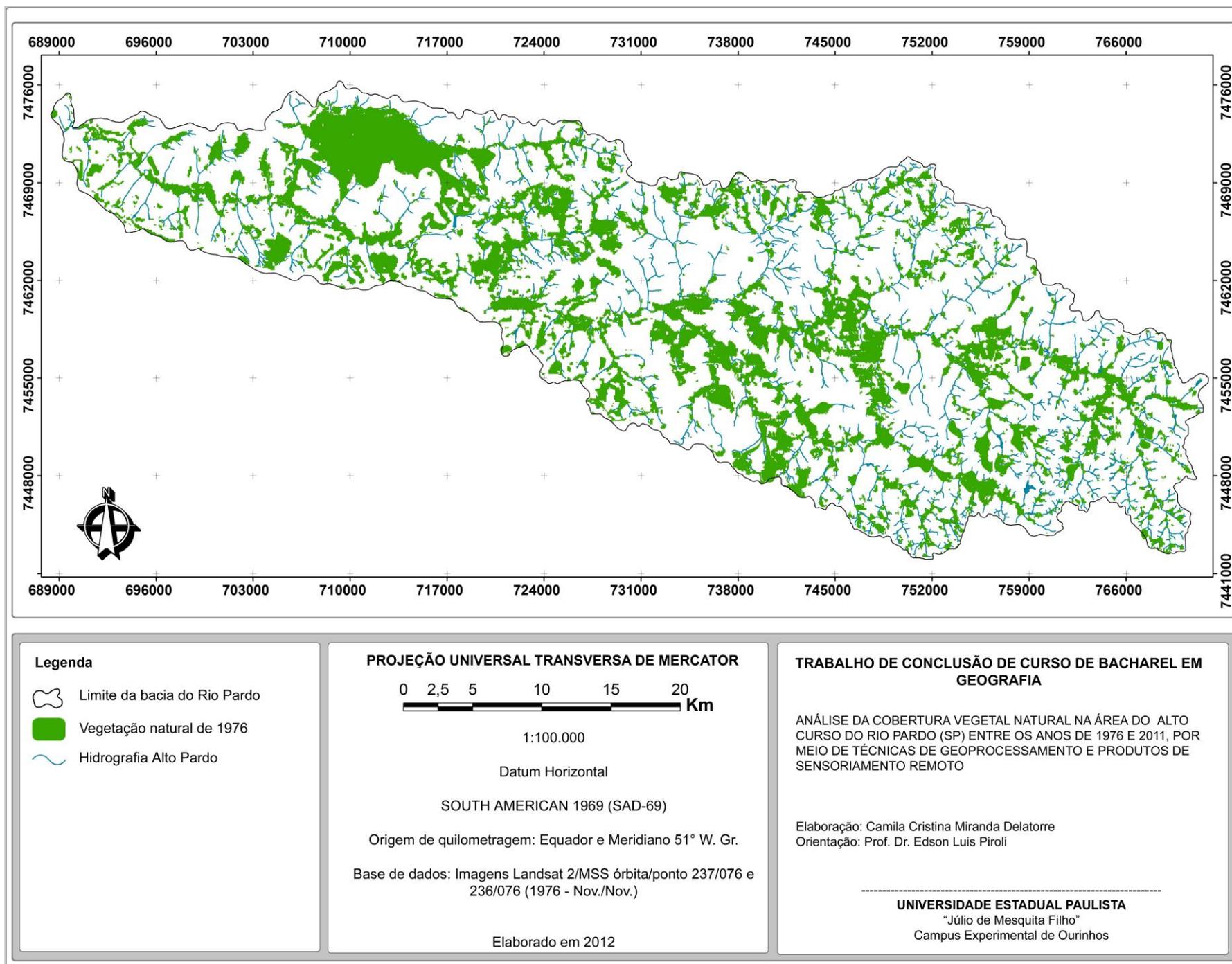


Figura 22. Mapa da cobertura vegetal natural da área do Alto Pardo, São Paulo (1976).

Quanto aos mapeamentos de 1985 e 2011 (Figuras 23 e 24), como apontado anteriormente, compreende ao período de maior intensificação na redução das áreas de vegetação natural, com uma perda de 10.789,7 ha, 8,08% em relação à área total do Alto Pardo.

Baseado na análise das composições falsa-cor de 1976 e 2011, a região de estudo, já apresentava desde o primeiro período analisado, uma significativa área coberta por eucaliptos destinados à exploração de madeira, principalmente na região de Iaras e Itatinga. Contudo, assim como houve um avanço expressivo de atividades agropecuárias, o processo de retirada da vegetação natural para o uso destinado à silvicultura, também foi expressivo em relação ao avanço da fronteira agrícola, como pode ser observado na porção Oeste da área de estudo, especificamente na subárea do Rio Palmital. Assim como, também houve redução nas vegetações naturais na porção Leste, Municípios de Pardinho e Pratânia e na região central ao longo do curso principal do Rio Pardo.

Neste ponto, tendo em vista que a cobertura florestal apresenta-se como um elemento importante para a conservação da bacia hidrográfica, sendo essencial para a proteção do solo, de modo a favorecer a infiltração das águas pluviais, além da proteção aos cursos hídricos, impedindo a contaminação destes por agrotóxicos, é mister que haja um equilíbrio entre produção e a preservação dos recursos naturais, em busca de um favorecimento bilateral, ou seja, considerar tanto o ambiental como o econômico.

No entanto, quanto a isto, as legislações destinadas à preservação e conservação dos recursos naturais, apresentam-se conflituosas, o que tem gerado confusão no entendimento destas legislações, uma vez que estas são condicionadas tanto por interesses públicos, como privados.

E para a área de estudo, considerando que grande parcela da vegetação natural se encontra em áreas particulares, percebe-se a deficiência na fiscalização destas propriedades pelos órgãos competentes, principalmente ao se considerar a perda total da cobertura vegetal natural em relação à área de estudo, ou seja, 14.235,9 ha, quase o total existente de vegetação natural para o ano de 2011.

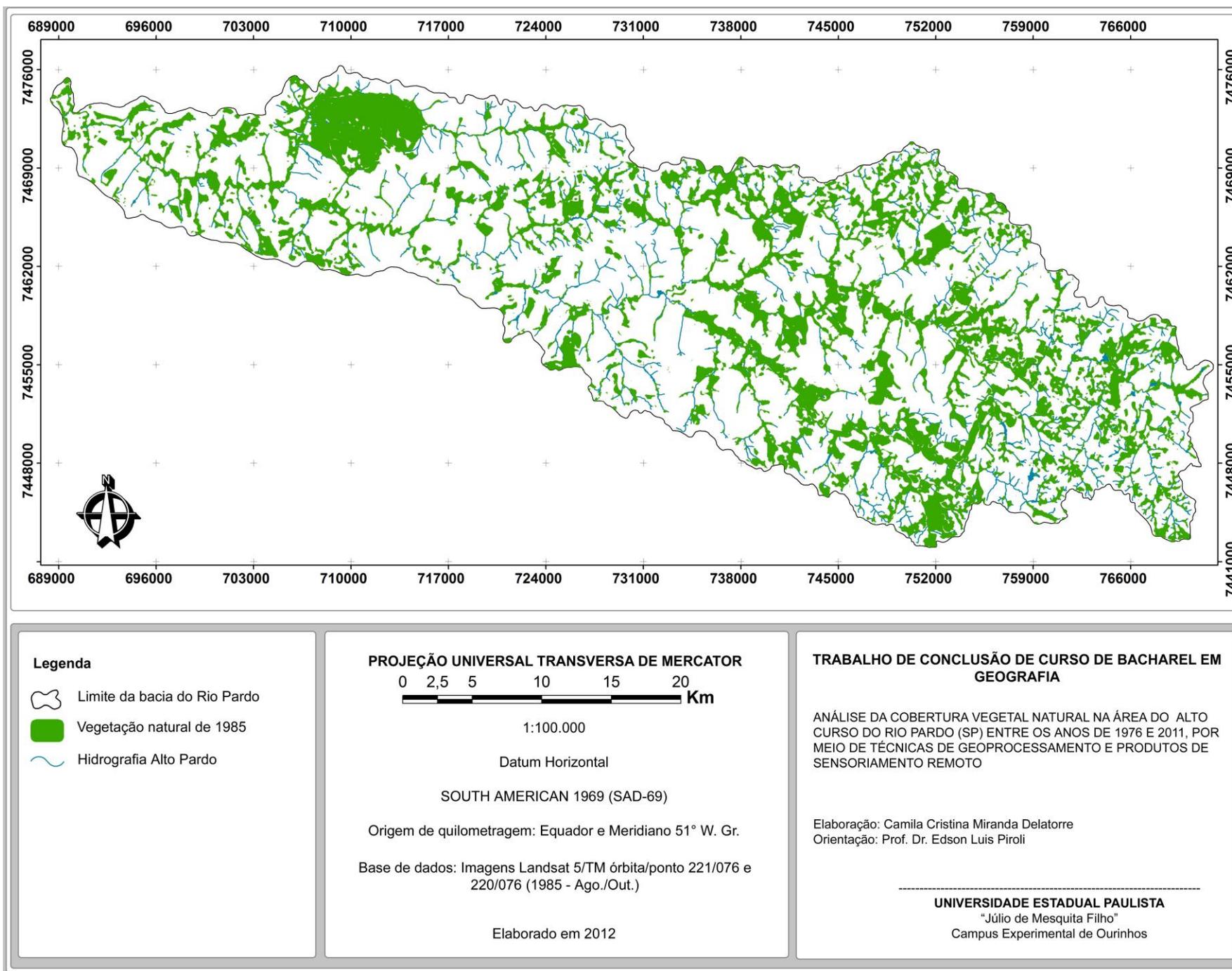


Figura 23. Mapa da cobertura vegetal natural da área do Alto Pardo, São Paulo (1985)

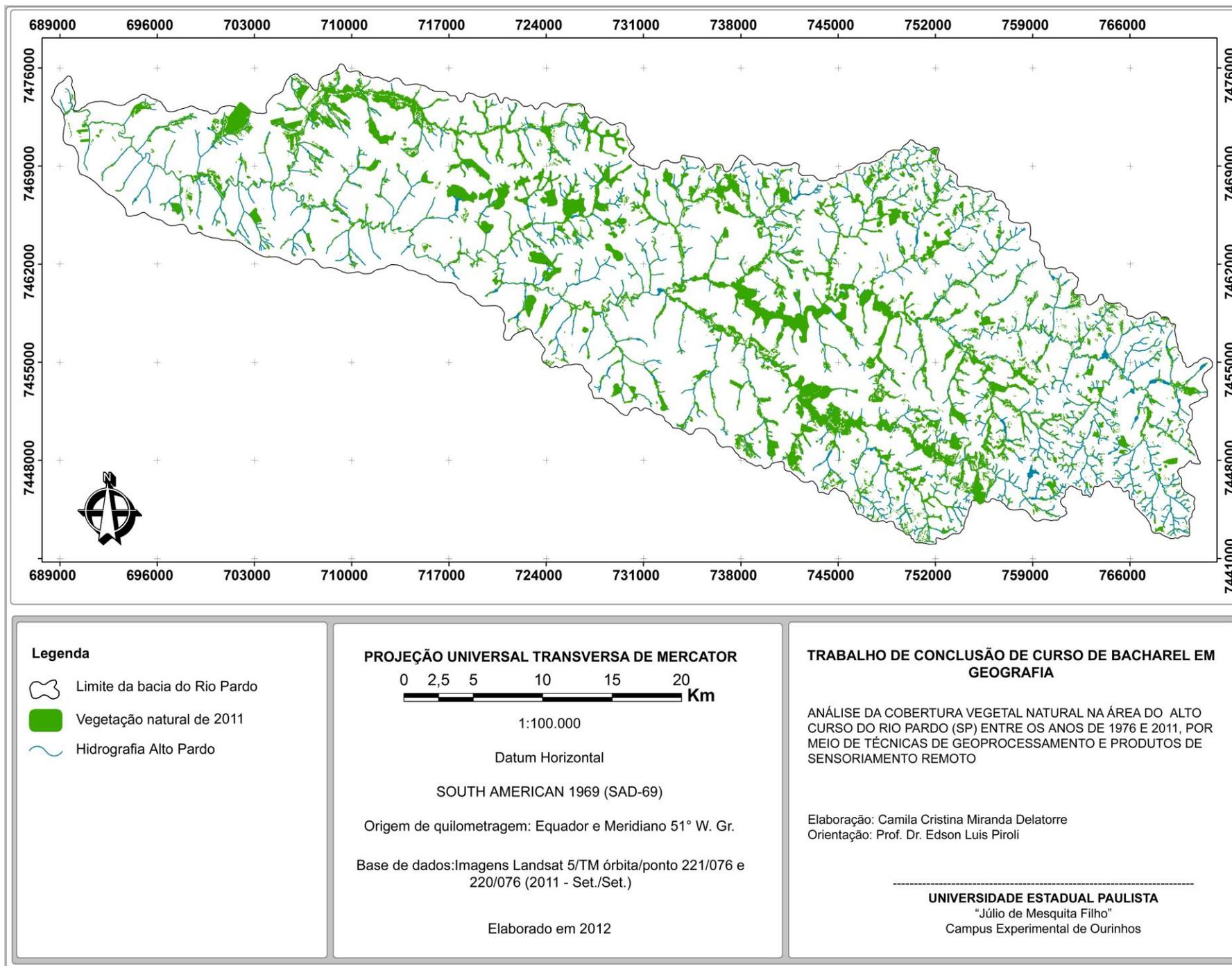


Figura 24. Mapa da cobertura vegetal natural da área do Alto Pardo, São Paulo (2011)

Analisando as alterações da cobertura vegetal natural no período de 1976 e 2011, representadas no mapa de síntese da perda deste recurso (Figura 25), juntamente a análise dos censos agrícolas (LUPA, 2007), observa-se que houve um aumento expressivo de atividades agropecuárias, principalmente, considerando as atividades predominantes nos municípios que fazem parte da área de estudo, tais como, cultivos de eucalipto, cana-de-açúcar, laranja, braquiária e milho, em detrimento da vegetação natural.

Portanto, a perda da vegetação natural desde 1976 até o ano de 2011, caracteriza essa situação da crescente degradação das florestas no interior paulista.

Considerando os dados quantitativos da Tabela 11, constata-se desde o ano de 1976 até 2011, uma perda de 42,74 % em relação ao total de 33.307,5 ha de área coberta por vegetação natural no ano de 1976, enquanto no ano de 2011, esta área é de apenas 19.071,6 ha.

Outra informação relevante, em relação ao decréscimo na vegetação natural na área do Alto Pardo, refere-se à comparação entre as áreas destinadas à Preservação Permanente, ou seja, as faixas marginais aos corpos hídricos, às nascentes, às lagoas naturais e aos reservatórios artificiais, que representam 7,6 % (10.233,78 ha) em relação à área de estudo e ao total constatado com a análise das imagens orbitais do ano de 2011.

Pela análise das imagens de 2011, foi obtido um valor de 19.071,6 ha, ou seja, apenas 14,30% da área está coberta por vegetação natural. E ao fazer a comparação entre as APPs da área e o total da cobertura de VN do ano de 2011, tem-se que as áreas ocupadas por este recurso representa apenas quase o dobro das áreas destinadas à Preservação Permanente. O que se mostra como um quadro preocupante, principalmente tendo em vista a intensa exploração da região por atividades agropecuárias.

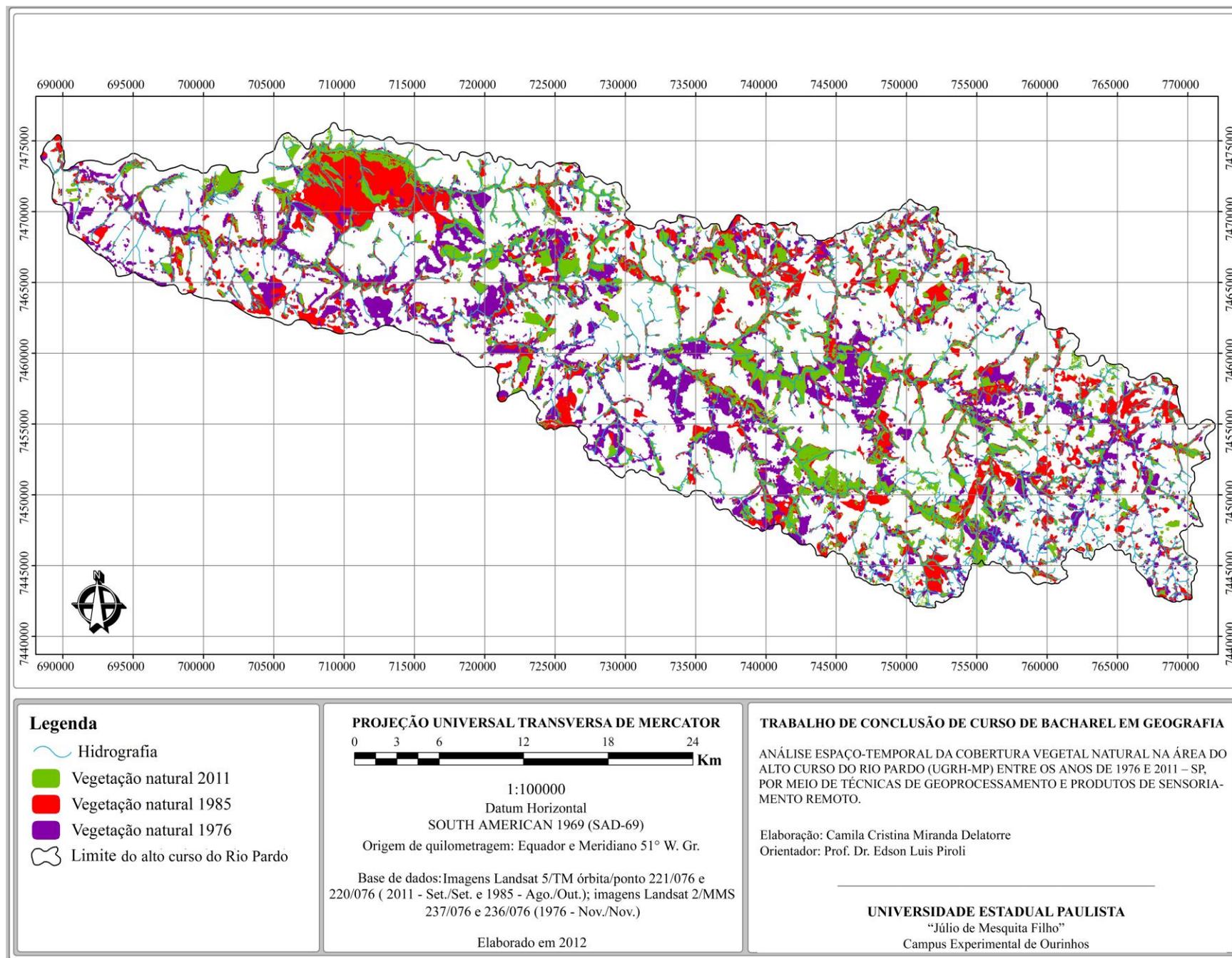


Figura 25. Mapa de síntese da perda de cobertura vegetal no Alto curso do Rio Pardo (SP), entre os anos de 1976 e 2011.

De acordo com o Relatório Zero (1999), as práticas intensivas no molde da agricultura atual, ocasionaram diversos problemas ambientais para a região do Médio Paranapanema, tais como: baixo índice de cobertura florestal, devido ao avanço contínuo da fronteira agrícola, provocado por incentivos para aumentar a produção pela expansão; intensificação de processos erosivos, pelas práticas de manejo inadequadas, pautadas na massiva exploração dos solos; e contaminação ambiental por uso de agrotóxicos.

Portanto, tais práticas intensivas de uso e ocupação do solo, trouxeram transformações significativas, principalmente ao se considerar o histórico de ocupação dos últimos 36 anos no interior paulista. Estas alterações se deram em função dos avanços tecnológicos e dos melhoramentos genéticos na agricultura, não descartando de forma alguma, o crescente adensamento populacional e, por conseguinte, a intensificação do processo de urbanização das cidades desta região que usufruem de forma direta dos recursos hídricos da Bacia do Rio Pardo.

As atividades agropecuárias sem um manejo adequado dos recursos naturais podem representar grandes impactos negativos aos mesmos. E tendo em vista todo o histórico de uso e ocupação pela agropecuária no Brasil, caracterizado pelos extensos latifúndios e conseqüentemente, pela intensa concentração de terra por uma minoria no país, é neste ponto, que prevalece os sistemas de monocultura, que para o caso da área de estudo, representa os cultivares de cana-de-açúcar.

Esta monocultura, condicionada por incentivos nacionais e internacionais de vários setores da economia, tornou-se uma realidade preocupante para o meio ambiente. Contudo, não se deve descartar a grande parcela da produção de álcool na economia do país, mas o ponto crítico se refere à ocupação destas extensas porções de terra destinadas exclusivamente, à produção de cana e principalmente, a busca pelo aumento da produção pela expansão das fronteiras agrícolas em detrimento das florestas nativas.

Do mesmo modo, a pecuária ocupa uma significativa porção do território brasileiro. Como relatado anteriormente, aproximadamente 24,55% das terras nacionais são ocupadas pela atividade pecuária, ou seja, 211 milhões de hectares, representando 3,5 vezes a soma de todas as outras formas de produção agrícola. E estes dados de certa forma, não demonstram a real situação ao se considerar o número de cabeças de gados por área, pois segundo o Censo Agropecuário de 2006, aproximadamente 180 milhões de cabeças de gado, ocupam uma área de 158 milhões

de hectares, ou seja, uma média de 1,14 cabeças por hectare.

No entanto, de acordo com Sparovek (2010), sistemas intensivos de produção de gado de corte podem ser rentáveis até 10 cabeças por hectare. Além de que se houver um manejo rotacionado, estas pastagens permitem, em grande parte das regiões pecuárias do Brasil, atingir esta lotação sem ocasionar muitos prejuízos para o meio ambiente, sem necessidade de investimentos em correção do solo ou adubação.

Neste ínterim, tanto o avanço das fronteiras das atividades agrícolas, como a expansão urbana e as vastas áreas de pastagens tem ocasionado uma crescente preocupação com o meio ambiente nas últimas décadas. A intensificação de todo este processo tem provocado de forma crescente, a degradação dos recursos naturais, como o esgotamento dos solos com o uso intensivo destes, poluição dos rios por agrotóxicos, aumento de desmatamentos, tanto nas áreas de Reserva Legal como nas Áreas de Preservação Permanente, ambas contempladas pelas legislações ambientais, principalmente o Código Florestal (Lei nº4.771/65), uma vez que este é destinado à fiscalização nas propriedades privadas.

De acordo Sparovek (2010), as áreas de vegetação natural, encontram-se em sua maioria, localizadas nestas propriedades privadas, com exceção das Unidades de Conservação ou terras indígenas, ou seja, 87% da vegetação natural no Cerrado é de áreas privadas, para a Mata Atlântica, 92%, na região dos Pampas, 99% e na Caatinga, 98%.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao considerar os dados apresentados, observa-se uma contínua perda na cobertura vegetal natural, e como, mencionado anteriormente, esta perda foi maior para o segundo período, de 1985 a 2011. Portanto, tendo por pressuposto, o histórico de uso e ocupação do solo, caracterizado pelos sistemas de monocultura, em especial o da cana-de-açúcar, pelos dados gerados neste trabalho, constatou-se um aumento significativo de desmatamento para a área do Alto Pardo, a partir de meados da década de 1980.

Concomitantemente, com a intensificação das discussões das questões ambientais, em âmbito internacional e nacional nos últimos 30 anos, houve um

aumento na demanda internacional por produtos agrícolas, gerando uma necessidade por maiores produtividades, o que foi possível com a “modernização” da agricultura. Esta demanda por produtos, principalmente, carne bovina e soja, e em âmbito nacional, a crescente demanda por etanol, provocou uma intensificação do avanço das fronteiras agropecuárias. Em decorrência disto, houve um crescente processo de substituição da vegetação natural, por esta expansão das fronteiras agropecuárias, assim como do crescimento das áreas urbanas, o que ocasionou a fragmentação dos ecossistemas florestais, constituindo pequenas manchas esparsas, distribuídas entre as Reservas Legais, Matas Ciliares e Unidades de Conservação.

Ao realizar um estudo com a finalidade de produzir mapeamentos espaço-temporais de uso e ocupação que considere um recorte temporal relativamente longo, há a necessidade da utilização de fontes como fotografias aéreas ou imagens orbitais, contudo, se considerarmos estas últimas, estamos restritos à disponibilidade das imagens Landsat, que apesar de sua relativa baixa resolução espacial, pode-se, mesmo assim, ser considerada como uma fonte primordial aos estudos desse tipo.

Contudo, apesar da disponibilização de imagens de um longo período, desde a década de 1970, este estudo, de certa forma, foi limitado em nível de detalhamento, principalmente ao se considerar a classificação das Áreas de Preservação Permanente, ou seja, áreas compreendidas pelas faixas marginais ao leito do rio com extensão de 30 metros – segundo a Resolução CONAMA 303/02 – uma vez que o pixel da imagem Landsat 5, apresenta uma mistura espectral dos alvos registrados naquela área representada pelo pixel, de 30 por 30 metros, ou seja, uma área de 900m².

Todavia, tal estudo não deixa de ter a sua validade, pois os mapeamentos foram confirmados visualmente, de modo a deixá-los os mais confiáveis dentro da realidade. Portanto, por meio da análise, pode-se constatar as alterações na cobertura vegetal natural da área de estudo, sendo esta ocupada, ao longo do período de estudo, por outras atividades de cunho antrópico.

7. BIBLIOGRAFIA

BARBOSA, G. da R. **Os consórcios de produtores rurais no complexo agroindustrial citrícola paulista: das Gatoperativas aos Gatosórcios** – A velha foma de contratação de mão-de-obra rural. São Carlos: UFSCAR, 2007. 103p. Dissertação de Mestrado.

BELTRAME, A. da V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação.** - Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1994.

BOLFE E. L., FONSECA E. L. da, PEREIRA R. S., MADRUGA P. R. de A. **Verificação da exatidão em classificação digital de povoamentos florestais em imagem orbital mediante três índices.** In: Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 2671 - 2677.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil** – 1988. Brasília (DF): Senado Federal; 1988.

BRASIL. **Lei Federal n.4.771**, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. Brasília: Presidência da República, 1965.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia.** [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em 02 de Abril de 2012.

CÓDIGO FLORESTAL. Lei No 4.771, de 15 de setembro de 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>

CRÓSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Instituto de Geociências, Departamento de Metalogênese e Geoquímica, Unicamp, Campinas, 1992.

DEMARCHI, J. C., PIROLI, E. L. **Aplicação da ferramenta Land Change Modeler do Idrisi Taiga na análise das mudanças do uso do solo do Município de manduri, SP entre os anos de 1990 e 2008.** In: **Anais IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal.** Curitiba, Paraná. 2010. p. 239-246.

DEMARCHI, J. C. ; PIROLI, E. L. ; ZIMBACK, C. R. L. . **Análise do uso do solo no município de Santa Cruz do Rio Pardo SP, usando imagens Landsat-5 classificadas por máxima verossimilhança, segmentação e índices de vegetação NDVI e SAVI.** In: 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2010, Maringá - PR. Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Maringá - PR : EM/DGE/PGE/DEC/PEU, 2010. v. 1. p. 1-17.

FASIABEN, M. do C. R.; ROMEIRO, A. R.; MAIA, A.G. **Reserva Legal Florestal: uma leitura sob a ótica da Economia Ecológica.** In: V Encontro Nacional da Anppas. - Florianópolis – SC, 2010. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT3-430-710-20100903113403.pdf>> (Acesso em: 20 de Abr. de 2012)

FERNANDES, E. R. **A relação campo-cidade a precariedade de infra-estrutura nos assentamentos e a modernização do campo – o caso do assentamento**

Zumbi dos Palmares em Iaras – SP. In: XIX ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA, São Paulo, 2009, pp. 1-27

FIGUEIREDO G. C., VIEIRA C. A. O. **Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto.** In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5755-5762.

FINK, D. R., **Legislação ambiental aplicada.** In: PHILIPPI JR., A. (Ed.). Saneamento saúde e ambiente, Coleção ambiental. Barueri: Manole, 2005. p. 733-759.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** - São Paulo: Oficina de textos, 2002.

FONSECA, R. C. B. **Análise estrutural e aspectos do mosaico sucessional de uma floresta semidecídua em Botucatu, SP** – In: SCIENTIA FORESTALIS. 2000, n. 57, p. 27-43.

GRAZIANO da S., J.; KAGEYAMA, A. **Do complexo rural aos complexos agroindustriais.** In: GRAZIANO DA SILVA, J. A nova dinâmica da agricultura brasileira. Campinas: UNICAMP: 1996.

GUIMARÃES, M. **Cartografia Ambiental da Região de Vitória da Conquista – BA.** São Paulo: USP-IB-DEG, 1999, 200p. il. Dissertação (Mestrado em Ecologia).

HOTT, M. C.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E. E. **Um método para a determinação automática de áreas de preservação permanente em topos de morros para o Estado de São Paulo.** In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 2005, INPE, p. 3061-3068.

IBGE. **Manual Técnico do uso da terra.** Ed.2, n. 7. Rio de Janeiro, 2006.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

LEI FEDERAL Nº 9.985 – de 18 de Julho de 2000. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/federal/leis/2000_Lei_Fed_9985.pdf>

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto.** Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.

LUPA – **Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agropecuária.** SAA/IEA/CATI. v. 4, 2007. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa/dadosmunicipais.php>>

MARICATO, E. **Metrópole periférica, desigualdade social e meio ambiente.** In: VIANA, Gilney; SILVA, Marina; DINIZ, Nilo (orgs.). O desafio da sustentabilidade – Um debate socioambiental no Brasil. São Paulo: Editora Fundação Perseu Abramo, 2001.

MEDIDA PROVISÓRIA 2.166-67/01 de 24 de Agosto de 2001. Disponível em:

<http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/federal/med_provissoria/2001_Med_Prov_2166_67.pdf>

MORAES, L. C. S. de. **Código Florestal Comentado**. – 4ª. ed. – São Paulo: Atlas, 2009.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. – 2ª ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2003.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. – 4ª ed. atual. e ampl. – Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2ª edição – São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

NOVO, E. M. L. M., PONZONI, F. J; **Introdução ao sensoriamento remoto**. - São José dos Campos, 2001.

PERINOTTO, J. A. de J., ETCHEBEHERE, M. L. De C., SIMOES, L. S. A. *et al.* **DIQUES CLÁSTICOS NA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ (P) NO NORDESTE DA BACIA DO PARANÁ, SP: ANÁLISE SISTEMÁTICA E SIGNIFICAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS, SEDIMENTOLÓGICAS E TECTÔNICAS**. *Geociênc. (São Paulo)*. [online]. out./dez. 2008, vol.27, no.4 p.469-491. Disponível em: <http://papegeocal.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-90822008000400004&lng=pt&nrm=iso>. ISSN 0101-9082.

PIROLI, E. L.; DEMARCH, J. C. **Imagens ALOS para análise do uso do solo nas Áreas de Proteção Permanente do Córrego das Furnas em Ourinhos, SP**. In: IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 2010, Curitiba - PR. Anais do IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal. Curitiba : Fupef, 2010. v. 1. p. 461-467.

PHILIPPI Jr. Arlindo; ROMÉRO Marcelo de Andrade & BRUNA Gilda Collet editores. **Curso de Gestão ambiental**. – Barueri, SP: Manole, 2004. p. 447-454.

PONZONI, F. J., SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. – São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2009.

_____. **Relatório Zero da bacia hidrográfica do Médio Paranapanema**. São Paulo: CPTI, 1999, 362p.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 302 de 20 de março de 2002. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/federal/resolucoes/2002_Res_CONAMA_302.pdf>

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 303 de 20 de março de 2002. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/federal/resolucoes/2002_Res_CONAMA_303.pdf>

RIBEIRO W. C. **A ordem ambiental internacional**. São Paulo; 1999. [Tese de Doutorado – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo]

SAITO, E. A. **Identificação de áreas de mata ciliar em região do Pontal do Paranapanema-SP utilizando fusão de imagens CCD/CBERS-2B e HRC/CBERS-2B.** In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Nata, Brasil, 25-30 Abril 2009, INPE, p. 2989-2994.

SANTOS, M., SILVEIRA, M. L. **O Brasil: território e sociedade no início do século XXI.**/ Milton Santos e María Laura Silveira – 6ª ed. – Rio de Janeiro: Record, 2004.

SEIFFERT, M. E. B. **Gestão Ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental.** – São Paulo: Atlas, 2007.

SPAROVEK, G. et al. **Brazilian agriculture and environmental legislation: status and future challenges.** In: *Environmental Science & Technology*, vol. 44, 2010, pp. 6046-53.

SPAROVEK, G.; BARRETO, A.; KLUG, I. PAPP, L.; LINO, J. **A Revisão do Código Florestal brasileiro.** CEBRAP, 2010, p. 181-205.

VALENTE, O. F. **Conservação de nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras.** – Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2005. p. 165 – 169

VIANA, G. SILVA, M. , DINIZ, N. **O desafio da sustentabilidade – Um debate socioambiental no Brasil.** Fundação Perseu Abramo, São Paulo, 2001.

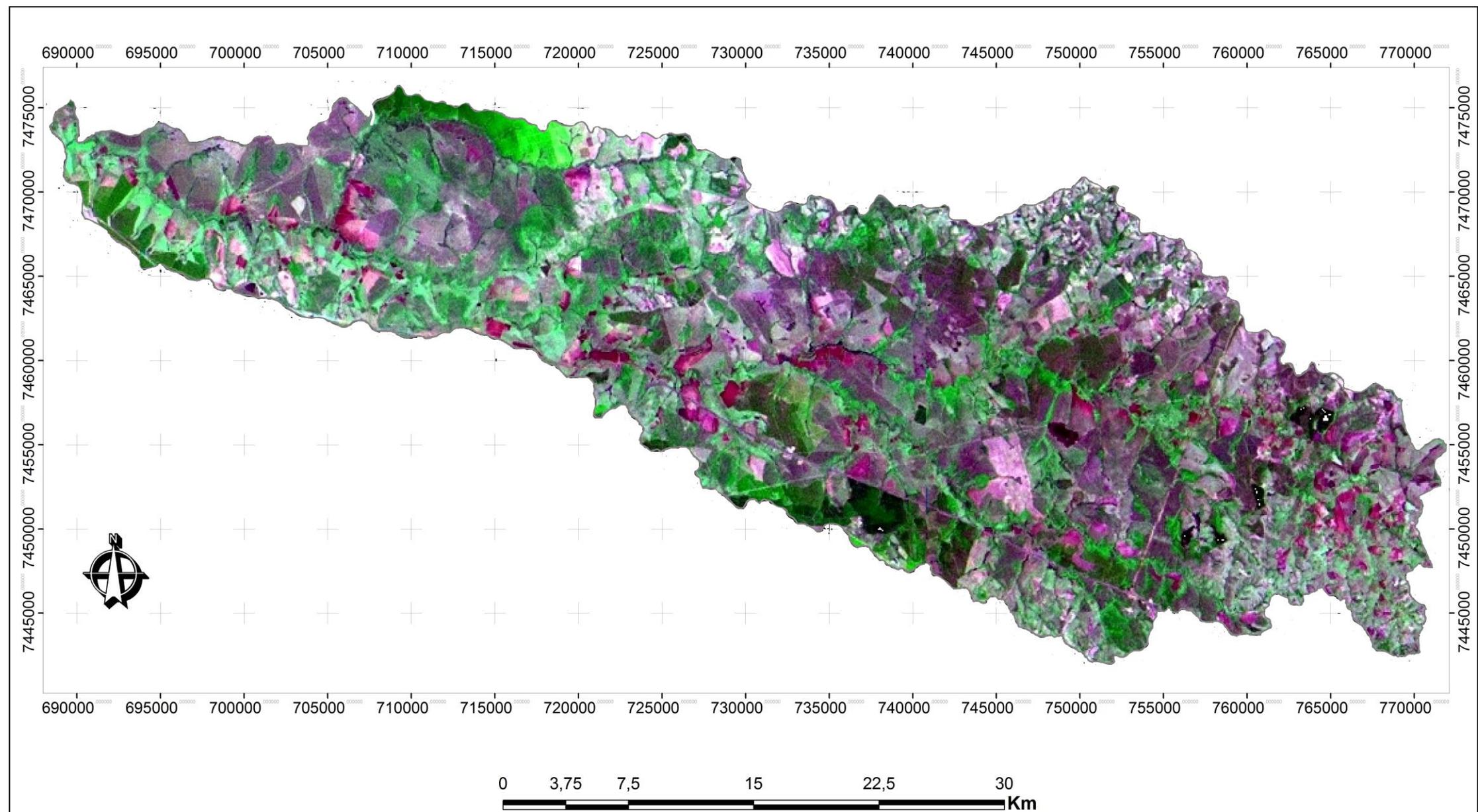
YAMAMOTO, L. F; KINOSHITA, L. S and MARTINS, F. R. **Florística dos componentes arbóreo e arbustivo de um trecho da Floresta Estacional Semidecídua Montana, município de Pedreira, estado de São Paulo.** *Rev. bras. Bot.* [online]. 2005, vol.28, n.1

Sites:

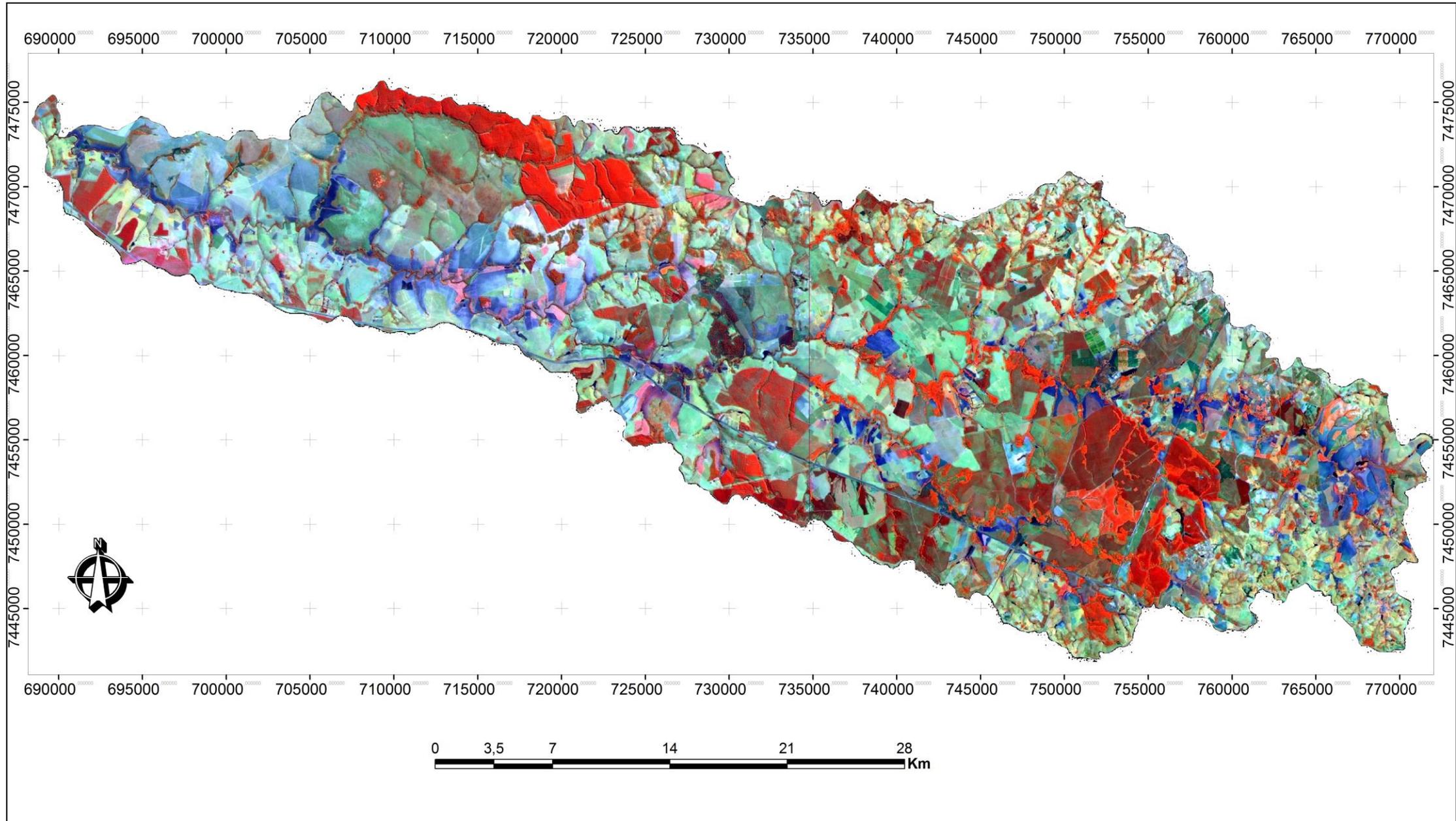
INPE <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>> (Acessado dia 27/Mar./2012.)

AASP. Associação dos Advogados de São Paulo. <www.aasp.org.br> (Acessado dia 09/Mai./2012)

UNICA. União da Indústria de cana-de-açúcar, 2008. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/opiniao/show.asp?msgCode=%7B653FC86C-D21E-455A-BFFF-5299131A1680%7D>> (Acessado dia 30/Jun./2012)

Anexo 2. Composição falsa-cor R(5)G(6)B(4), (1976)

Anexo 3. Composição falsa-cor R(4)G(5)B(3), (1985)



Anexo 4. Composição falsa-cor R(4)G(5)B(3), (2011)