

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR

**ANÁLISE TEMPORAL DO USO DA TERRA
NO MUNICÍPIO DE Balsa Nova – PR**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LUIZ ANDRÉ TISSIANI SCHARLAU

Irati – PR

2011

LUIZ ANDRÉ TISSIANI SCHARLAU

**ANÁLISE TEMPORAL DO USO DA TERRA
NO MUNICÍPIO DE Balsa Nova – PR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Attilio Antonio Disperati
Orientador

Prof. Dr. Francisco Dario Maldonado
Co-Orientador

Prof. Dr. Antonio José de Araujo
Co-Orientador

Irati – PR

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE
UNICENTRO
PR 153 – Km 07
Fone (0xx) 42 3421-3000
Home Page: <http://www.unicentro.br>
CEP: 84.500-000 – Caixa Postal 21
Irati – Paraná – Brasil

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

S311a SCHARLAU, Luiz André Tissiani
Análise temporal do uso da terra no município de Balsa
Nova – PR / Luiz André Tissiani Sharlau. – Irati, PR :
UNICENTRO, 2011.

97f.
ISBN
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universi-
dade Estadual do Centro-Oeste, PR
Orientador : Prof. Dr. Attilio Antonio Disperati
Co-Orientador : Prof. Dr. Francisco Dario Maldonado
Co-Orientador : Prof. Dr. Antonio José de Araujo

1. Engenharia Florestal – dissertação. 2. Sensoriamento
remoto 3. Fotoimagens. 4. Ortofotografias 5. Detecção de
mudanças. I. Disperati, Attilio Antonio. II. Maldonado,
Francisco Dario. III. Araujo, Antonio José de. IV. Título.

CDD 526.982



Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PARECER

Defesa Nº 23

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, *Campus* de Irati, após arguir o mestrando **Luiz André Tissiani Scharlau** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "ANÁLISE TEMPORAL DO USO DA TERRA NO MUNICÍPIO DE Balsa Nova-PR", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do estudante, habilitando-o ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 18 de março de 2011.

Dr. Marcos Benedito Schimalski
Universidade do Contestado
Primeiro Examinador

Dr. Francisco Dario Maldonado
Universidad Autónoma de Entre Ríos
Segundo Examinador

Dr. Attilio Antonio Disperati
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Home Page: <http://www.unicentro.br>

A minha família.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo consentimento da vida e poder fazer parte deste mundo;

Meu pai Nelson Luiz Scharlau (*in memorian*), e minha mãe Lourdes Tissiani Scharlau (*in memorian*);

Meus irmãos, Nelson Alexandre, José Anderson;

Minha amiga, namorada e esposa, Elizabet, pela sua dedicação e paciência, sempre soube administrar o tempo, principalmente quando não pude estar presente;

Meu Orientador, que nunca teve problemas com desafios e o enfrentamento da realidade;

Meus Co-orientadores, que de imediato aceitaram tal incumbência, agradeço sua franqueza e honestidade;

Meus colegas de curso, obrigado pela tolerância;

A todos meus professores, pela sua dedicação e saber;

Aos funcionários desta Universidade, pela demonstração de urbanidade e respeito;

Ao ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geociências do Paraná;

A SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Paraná;

A COMEC – Sistema Estadual de Planejamento e Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba;

Ao IPPUC – Instituto de Pesquisas do Perímetro Urbano de Curitiba – IPPUC;

A todos aqueles que possibilitaram a efetivação desta Dissertação, pela demonstração de interesse e afincos, em relação aos materiais fornecidos para sua execução e conclusão.

*Prefiro ser essa metamorfose ambulante,
Do que ter aquela velha opinião formada sobre tudo.*
Raul Seixas *28/06/1945 †21/08/1989

SUMÁRIO

Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	x
Resumo	xi
Abstract	xii
1.Introdução	1
2.Objetivos	3
2.1.Objetivo geral.....	3
2.1.Objetivos específicos.....	3
3.Referencial Teórico	4
3.1.Fotoimagens.....	4
3.2.Escala de fotoimagens verticais.....	5
3.3.Interpretação de fotoimagens e imagens de satélite.....	7
3.3.1.Fotogrametria.....	10
3.4.Resolução.....	11
3.5.Ortoimagem digital.....	13
3.6.Mosaicagem.....	14
3.7.Sensoriamento remoto.....	15
3.7.1.Energia eletromagnética.....	16
3.7.2.Características espectrais dos alvos.....	18
3.7.3.Características de reflexão e espectros da vegetação.....	18
3.8.Sistemas sensores.....	20
3.9.Imagens de satélite.....	22
3.10.Deteccção de mudanças empregando produtos de sensoriamento remoto.....	23
3.10.1. Deteccção de mudança por imagem diferença.....	24
3.10.2. Deteccção de mudança por diferença de índice de vegetação.....	25
3.10.3. Deteccção de mudança por análise do vetor de mudança.....	25
3.10.4. Deteccção de mudança por análise de componentes principais (ACP).....	25
3.10.5. Deteccção de mudança por comparação pós-classificação.....	26
3.10.6.Rotação radiométrica controlada por eixo de não mudança (RCEN).....	27
3.11.Matriz de confusão.....	31
3.12.Análise Kappa da matriz de confusão.....	33
4.Material e Métodos	35
4.1.Caracterização da área de estudo.....	35
4.2.Materiais.....	36
4.2.1.Fotoimagens e ortorectificação digital.....	37
4.2.2.Imagens de satélite utilizadas.....	38
4.2.3.Programas computacionais.....	39
4.3.Metodologia.....	40
4.3.1.Consolidação da base de dados cartográfica.....	41
4.3.2.Técnica de interpretação visual.....	41
4.4.Técnica de deteção pós-classificação.....	43
4.5.Registro das imagens de satélite.....	43

4.6.Detecção de mudanças 2001-2009.....	44
4.7.Atualização do mapa de uso 2000.....	45
5.Resultados e Discussão.....	48
5.1.Consolidação da base de dados cartográfica.....	48
5.1.1.Resultados da aplicação das técnicas de mosaicagem de ortoimagens digitais.....	48
5.1.2.Resultados da aplicação das técnicas de mosaicagem de fotoimagens monoscópicas.....	50
5.2.Geração de mapas de uso da terra.....	52
5.2.1.Resultados da interpretação visual.....	52
5.3.Resultado da aplicação das técnicas com imagens de satélite.....	70
5.4.Resultados do trabalho de campo.....	81
6.Conclusões.....	88
7.Referências Bibliográficas.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Recobrimento longitudinal de 60% com recobrimento lateral de 10% a 30%.....	5
Figura 2. Escala de uma fotoimagem.....	6
Figura 3. Exemplo de textura lisa (1) e rugosa (2) em parte de uma ortoimagem digital do ano de 2000.....	9
Figura 4. Fotoimagem e efeito perspectivo ortorretificado.....	13
Figura 5. Mosaico controlado a partir de fotoimagens.....	15
Figura 6. Comportamento espectral da vegetação.....	17
Figura 7. Possíveis trajetórias das radiações eletromagnéticas, interação da energia solar com a folha: radiação incidente (I), energia refletida (R), parte absorvida (A) e parte transmitida (T).....	18
Figura 8. Refletividade espectral de uma folha e a capacidade de absorção de água para radiação no VIS e NIR.....	19
Figura 9. Espectros do sensoriamento remoto passivo.....	20
Figura 10. Exemplo de aquisição de imagens de satélite por sistema de quadro em <i>a</i> e em <i>b</i> por sistema de varredura.....	21
Figura 11. Exemplo de dispersograma de um par de bandas multitemporal em <i>a</i> , apresentando mudanças que ocorrem ao eixo de não mudança (GRACA, 2204), e em <i>b</i> , do mesmo par de bandas (3), do que ocorreu entre 2001 e 2009 das imagens de satélite.....	29
Figura 12. Localização da área de estudo (retângulo em vermelho) na Região Metropolitana de Curitiba.....	35
Figura 13. Disposição das ortoimagens da Região Metropolitana de Curitiba-PR.....	38
Figura 14. Imagens Landsat 5 TM de 03 de agosto de 2009, com resolução espacial de 30 metros, tratada em ambiente <i>ArcGis</i> , demonstrando a área de estudo.....	39
Figura 15. Fluxograma da metodologia geral da pesquisa.....	40
Figura 16. Ferramenta de estatística do <i>ArcGis</i> 9.3.....	42
Figura 17. Etapas da RCEN multiespectral.....	45
Figura 18. Fluxograma para realização do trabalho de campo.....	46
Figura 19. Mosaico de ortoimagens do ano de 2000.....	49
Figura 20. Mosaico de 1980.....	51
Figura 21. Mapa de uso e cobertura da terra derivado do mosaico para o ano de 1980.....	53
Figura 22. Exemplo de área de agropecuária existente no mosaico de 1980.....	54
Figura 23. Exemplo de área urbana existente no mosaico de 1980.....	55
Figura 24. Exemplo de área de floresta natural existente no mosaico de 1980.....	56
Figura 25. Exemplo de área de floresta plantada existente no mosaico de 1980.....	57
Figura 26. Mapa de uso e cobertura da terra do ano 2000.....	58
Figura 27. Gráfico <i>a</i> apresentando distribuição das frequências das áreas de agropecuária em 1980 e <i>b</i> no ano 2000.....	59
Figura 28. Gráfico <i>a</i> apresentando distribuição das frequências das áreas urbanas e urbanizada em 1980 e <i>b</i> no ano 2000.....	60
Figura 29. Gráfico <i>a</i> apresentando distribuição das frequências das áreas de floresta natural em 1980 e <i>b</i> no ano 2000.....	60

Figura 30.Gráfico <i>a</i> apresentando distribuição das frequências das áreas de floresta plantada em 1980 e <i>b</i> no ano 2000.....	61
Figura 31.Extração de areia na área de estudo detectada no mosaico do ano 2000.....	62
Figura 32.Gráfico de colunas apresentando diferença entre as classes de 1980 e 2000.....	63
Figura 33.Mapa de dinâmica do uso e cobertura da terra 1980x2000.....	66
Figura 34.Efeito das mudanças por deslocamento dos polígonos ou não concordância geométrica entre os mapas utilizados.....	69
Figura 35.Imagem Landsat 5 TM do ano de 2001.....	71
Figura 36.Imagem Landsat 5 TM do ano de 2009.....	72
Figura 37.Mapa detecção de mudanças 2001-2009 com cinco classes.....	74
Figura 38.(<i>a</i>) Imagem Landsat 5 de 2001 e (<i>b</i>) imagem Landsat 5 de 2009.....	75
Figura 39.Mapa da dinâmica do uso e cobertura 2001-2009.....	78
Figura 40.Pontos de controle realizados, tendo o mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2000 como referência.....	82
Figura 41.Tela em tempo real GTMPRO com o mapa de uso de 2000.....	83
Figura 42.Fotografia coletada em trabalho de campo da classe agropecuária em <i>a</i> , e em <i>b</i> a classe estradas.....	84
Figura 43.Área urbana ou urbanizada de Balsa Nova em <i>a</i> e em <i>b</i> a classe hidrografia e da área de proteção ambiental.....	84
Figura 44.Aspecto da classe extração de areia (<i>a</i>) e da classe área inundada (<i>b</i>).....	85
Figura 45.Campo natural e outros e ao fundo floresta natural.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.Chave de interpretação de fotoimagens e imagens de satélite.....	8
Tabela 2.Características espectrais de imagens Landsat 5 e 7.....	23
Tabela 3.Esquema para a análise da matriz de confusão.....	31
Tabela 4.Qualidade das cartas segundo o índice K.....	34
Tabela 5.Mudanças apresentadas no uso e cobertura da terra entre 1980 e 2000.....	65
Tabela 6.Área em hectares das classes temáticas do mapa de dinâmica 1980x2000.....	68
Tabela 7.Valores comparativos entre o mapa de uso e cobertura de 2000 e a reclassificação do mapa de dinâmica 1980/2000.....	69
Tabela 8.Diferença entre mapas de uso e cobertura da terra 2000 com 0,84m e 30m.....	74
Tabela 9.Caracterização radiométrica das classes mais importantes encontradas no mapa de uso e cobertura da terra entre 2001-2009.....	77
Tabela 10.Total amostrado ao mapa da dinâmica do uso e cobertura 2009.....	80
Tabela 11.Classes de interesse entre o mapa de uso e cobertura da terra 2000 com 30m e o de dinâmica 2009 com 30m.....	80
Tabela 12.Matriz de confusão do mapa de uso de 2009.....	87

RESUMO

SCHARLAU, Luiz André Tissiani, Análise temporal do uso da terra em Balsa Nova – PR.

O presente trabalho teve como objetivo detectar mudanças no uso e cobertura da terra ocorridas entre os anos de 1980 a 2009, em uma área de 10.370,0 hectares, localizada no município de Balsa Nova-PR, utilizando fotoimagens (1980) com resolução espacial de 2 m, ortoimagens (2000) com resolução espacial de 0,84 m e imagens de satélite Landsat 5 TM (2001 e 2009) com resolução espacial de 30 m. Gerou-se mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 1980 e 2000, onde por interpretação visual/manual em tela do computador, obteve-se sete e oito classes, respectivamente, resultando diferenças entre as áreas das classes apresentadas, porém, evidenciou-se que na classe Floresta Natural não houve alteração, nesse período, enquanto que a classe Floresta Plantada sofreu um aumento de 554,1%. Quanto ao mapa de dinâmica do uso e cobertura 1980/2000, elaborado com a técnica de detecção por comparação pós-classificação, com dezesseis classes temáticas, apresentou resultados não confiáveis, haja vista erros geométricos no mosaico de 1980, inclusive diferenças de interpretação das classes temáticas nas duas datas consideradas. Devido indisponibilidade de imagens de satélite do ano 2000, isenta de nuvens, na elaboração do mapa das mudanças, utilizou-se imagem de 2001, realizada através da técnica de Rotação Radiométrica Controlada por Eixo de Não Mudança (RCEN). O mapa de uso e cobertura da terra de 2000 sofreu reamostragem para 30 metros, onde na sequência foi cruzado com o mapa das mudanças 2001-2009, pela técnica de detecção de mudanças por comparação pós-classificação, resultando o mapa da dinâmica do uso e cobertura 2001-2009. Realizou-se ainda a coleta de pontos amostrais para validação do mapa das mudanças 2001-2009 e posterior atualização do mapa de uso e cobertura da terra de 2000 para o mapa da dinâmica do uso e cobertura 2009. Esta técnica, RCEN, dispensa menos tempo para seu processamento, mas necessita de coleta de pontos amostrais para viabilizar classes temáticas que sofrem mudanças. É uma técnica de utilização rápida, não necessitando de correção atmosférica das imagens, sobretudo para as classes temáticas que não apresentam confusão. Contudo, as classes Floresta Natural e Floresta Plantada sofreram redução de área no período de 2001-2009.

Palavras-chave: Fotoimagens, ortofotoimagens, sensoriamento remoto, detecção de mudanças.

ABSTRACT

SCHARLAU, Luiz André Tissiani, Temporal analysis of land use the city of Balsa Nova – PR.

This study aimed to change detection in the land-use and land-cover that occurred between the years 1980 to 2009, in an area of 10,370.0 hectares, located in the Balsa Nova county, Paraná. It was used photoimages (1980) with spatial resolution of 2 m, orthoimages (2000) with spatial resolution of 0.84 and satellite images Landsat 5 TM (2001 and 2009) with spatial resolution of 30 m. It was elaborated land-use and land-cover maps for the years 1980 and 2000, performed by on-screen digitalization to identify seven and eight classes, respectively. There was no area alteration in the class Natural Forest, while the Forest Planted area has risen by 554.1%. The 1980/2000 dynamic map of land-use and land-cover, that was prepared by post-classification comparison and with sixteen thematic categories, presented unreliable results, due to geometric errors in the mosaic of 1980, including differences in interpretation of the classes subjects in the two dates. Due to unavailability of satellite images of 2000, free of clouds and for near the same date of photo and orthoimages, for the change map (2001-2009) it was used 2001 Landsat image and the algorithm of Radiometric Rotation Controlled Axis of Not Change (RCEN). The 2000 land-use and land-cover map was resampled to 30 meters and it was crossed, by the algorithm of post-classification comparison, with the change map (2001-2009), resulting the 2001-2009 dynamic map of the land-use and land-cover. Field work was carried out in order to collect field sample points for validation of the 2001-2009 change map and subsequent update of the 2000 land-use and land-cover map for the 2009 dynamic map of the land-use and land-cover. The technique RCEN dispenses less processing time than the visual interpretation, but requires sample collection points in the field to confirm the thematic classes that undergo change; it is a technique for rapid use, particularly for thematic classes that do not have confusion. The areas occupied by Natural Forest and Planted Forest classes reduced in the period 2001-2009.

Keywords: Photoimages, orthophotoimages, remote sensing, change detection.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente tem se tornado um dos assuntos mais importantes das discussões pelo mundo, principalmente com relação à manutenção e conservação de florestas. Contudo, o homem, tendo como objetivo sua subsistência e o desenvolvimento econômico tem explorado produtos madeireiros e expandido as áreas agrícolas e de pastagens em detrimento da conservação das florestas. Percebe-se que a expansão mundial das atividades econômicas tem sido intensa onde a expansão de áreas de agropecuária vem ocupando importantes nichos ecológicos (SOMMER, 2007).

O acompanhamento da evolução temporal e expansão de um determinado fenômeno, referente à exploração das terras, pode ser feito por meio da interpretação de séries históricas de imagens aéreas, ou seja, buscando informações mediante a análise de uma mesma área em diferentes épocas. Desta forma, é possível acompanhar a evolução de um fenômeno e, então, a partir deste conhecimento gerenciar a área objeto onde ele acontece (BITENCOURT e LOCH, 1998 apud GRACIANI E LOCH, 2000).

Avaliação multitemporal é a capacidade de identificar, prevenir e monitorar qualquer alteração do meio ambiente que venha ou possa ocorrer em determinada área ou região, podendo-se verificar por meio de fotografias aéreas ou imagens de satélite, de acordo com sua resolução temporal.

Detecção de mudança digital é um processamento computadorizado que identifica mudanças no estado de um objeto, ou nas feições da superfície terrestre, entre diferentes datas (CARVALHO JUNIOR et. al., 2005).

Alguns dados obtidos na detecção de mudanças do uso da terra são estáticos, outros são dinâmicos com mudanças rápidas. É importante que estas alterações sejam inventariadas com precisão para que processos físicos e humanos sejam plenamente entendidos (JENSEN, 2008).

Acredita-se que no uso e cobertura da terra ocorram mudanças de importância global com impactos talvez maiores do que as alterações climáticas.

Para Novo (1988), cobertura da terra é todo o revestimento do terreno, sejam recursos naturais renováveis ou não e a utilização cultural da terra. Segundo Escada (2003), uso da terra refere-se à utilização desta pelo homem, seja para o cultivo agrícola ou pastoreio, com a mudança envolvendo a troca de um tipo de uso e/ou sua intensificação. O termo cobertura da

terra relaciona-se ao seu estado físico, à cobertura biofísica observada em sua superfície, isto é, corpos d'água existentes, rochas e vegetação, por exemplo.

Em algumas regiões, especificamente na região Sul do Brasil, uso da terra tem um significado de como a propriedade será ou está sendo aplicada - na área agrícola para cultivo; na pecuária para criações diversas, ou ainda, simplesmente para a conservação da mata nativa, como no caso dos parques conservacionistas. Quanto ao uso do solo, entende-se estritamente o que o local está produzindo, como no caso das lavouras, que nesta região sul destinam-se à produção de grãos como soja, feijão, milho, etc; e na pecuária, à criação de bovinos, ovinos, caprinos, etc. Neste contexto, esta dissertação enfocará simplesmente os termos uso e cobertura da terra.

Devido à retórica do desenvolvimento sustentável, faz-se necessário uma avaliação temporal do ambiente em que vivemos. Isto requer conhecimento no campo científico e identificação de mudanças no estudo da vegetação de um mesmo local em diferentes períodos. Assim, podem ser desenvolvidos, contemplando o comportamento sazonal de dosséis em ecossistemas. Esse meio é utilizado para identificar mudanças no uso da cobertura da terra, e principalmente o desmatamento crescente, ora “contido” pelas leis ambientais.

Técnicas de sensoriamento remoto são recursos tecnológicos atendendo necessidades em se obter mapas e monitorar a dinâmica espaço-tempo da paisagem. Para isto tornam-se necessárias interpretações e comparações de classes em diferentes datas. A detecção de mudanças pode ser um processo computadorizado que identifica transformações ocorridas em um objeto ou na superfície terrestre ao longo dos anos. Porém, quando a informação envolvida provém de fontes históricas obtidas com tecnologias muito diferentes, os métodos podem utilizar a interpretação visual para compatibilizar as diferenças de qualidade e da resolução espacial.

Este tipo de estudo torna-se necessário e importante para o estabelecimento de uma cidade, ou mesmo ao aperfeiçoamento de diretrizes sociais, econômicas e ambientais de um município, visando, por exemplo, escoamento de safras, instalação de parques industriais, construção de moradias, captação de água e tratamento de esgoto, implantação de aterros sanitários e principalmente a manutenção e conservação de proteção permanente (APP).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é analisar as alterações sofridas no uso e cobertura da terra circunscritas em parte do município de Balsa Nova, PR, entre os anos de 1980 e 2009, com o auxílio de ferramentas de sensoriamento remoto, aerofotogrametria e geoprocessamento.

2.1. Objetivos específicos

Este estudo teve como objetivos específicos:

- 1) Aplicar metodologia existente para elaboração e geração dos mapas de uso e cobertura da terra.
- 2) Quantificar as alterações sofridas ao longo dos anos na área de estudo entre os anos de 1980 a 2009;
- 3) Analisar o mapa de dinâmica entre os anos de 1980 e 2009, através da análise visual de fotografias aéreas e ortofotoimagens, integrando imagens Landsat TM5 através da técnica RCEN;
- 4) Avaliar a validação pelo desempenho da classificação temática do mapa de detecção.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Dentre os diversos meios empregados para realização desta dissertação, ressaltam-se os mais importantes como: Fotografias aéreas ou fotoimagem, Ortoimagens digital, Mosaicagem, Sensoriamento Remoto, Método de detecção de mudanças e Índice Kappa. Esses assuntos serão abordados nos próximos capítulos.

3.1. Fotoimagens

Fotografias aéreas ou fotoimagens são obtidas por meio de mecanismos aerotransportados ou mesmo de forma manual, retratando uma porção da superfície terrestre. Podem ser verticais ou oblíquas, que se diferenciam pela posição do eixo da câmera fotográfica em relação à superfície terrestre.

Fotoimagem vertical é quando o eixo óptico da câmera está dentro de $\pm 3^\circ$ da vertical em relação à superfície terrestre e dela pode-se obter informações quantitativas detalhadas sobre a vegetação e hidrologia do terreno. A diferença desta para a fotografia aérea oblíqua, ou inclinada, é que o eixo óptico da câmera encontra-se deslocado de sua vertical $> 3^\circ$ (JENSEN, apud ALMEIDA FILHO et. al., 2005).

As fotoimagens verticais são as mais utilizadas permitindo melhor mapeamento de feições do terreno (DISPERATI, 2007). Possuem vantagens principais como:

- a) Podem ser estudadas estereoscopicamente por fornecerem imagem tridimensional, dependendo das características de voo;
- b) Pontos podem ser localizados mais facilmente nos mapas;
- c) Direções, com exatidão suficiente, podem ser obtidas para o trabalho de campo;
- d) Alturas e profundidades podem ser medidas;
- e) Podem não conter áreas no terreno obscurecidas por objetos maiores situados na frente;
- f) Apresentam exatidão nas formas;
- g) Podem ser usadas para elaborar mapas topográficos ou temáticos ou substitutos destes.

As fotoimagens devem possuir um recobrimento longitudinal de no mínimo 60% e um recobrimento lateral entre 10% e 30%, conforme demonstrado pela Figura 1.

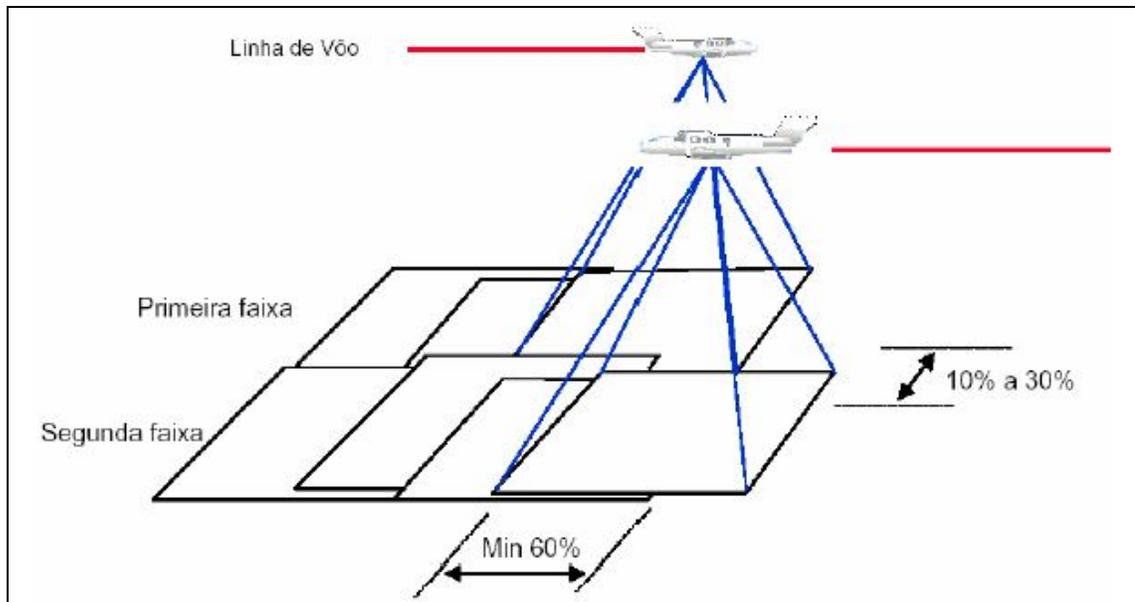


Figura 1 – Recobrimento longitudinal de 60% com recobrimento lateral de 10% a 30% (IBGE, 2010).

As fotoimagens podem ser verticais ou oblíquas, dependendo da tomada de voo e do interesse do estudo a ser realizado. Estas últimas ainda podem ser oblíqua alta, quando a linha do horizonte fica visível; ou oblíqua baixa, quando não aparece a linha do horizonte nas fotografias aéreas. Entretanto, nesse trabalho, como o enfoque principal deu-se pela tomada de fotoimagens verticais, não serão feitos enfoques quanto aos demais produtos de fotoimagens.

3.2. Escala de fotoimagens verticais

Escala é a razão de uma distância medida em um mapa e sua correspondente no terreno. A escala geralmente é expressa como uma fração, cujo numerador e denominador apresentam-se na mesma unidade, mostrando assim que uma escala não possui dimensão e que quanto maior seu denominador menor é a escala. Na aerofotogrametria, escala é

conceituada pela razão da distância focal calibrada da câmera e a altura de voo sobre o ponto considerado (Equação 1), esquematizado pela Figura 2.

$$E = \frac{f}{H} \quad (01)$$

Onde:

E é a escala média da fotoimagem h ;

f é a distância focal da câmera;

H é a altura média de voo em relação ao solo.

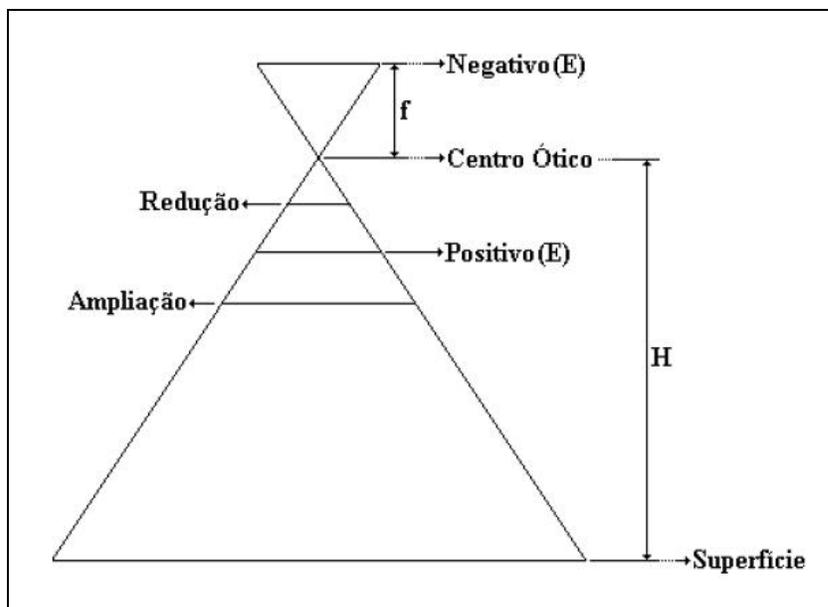


Figura 2 – Escala de uma fotoimagem (Spohr, 2010).

Utilizando-se fotoimagens pode-se mapear um terreno, cujo mapa final estará em uma projeção ortográfica em relação a superfície física deste, sendo que todos os pontos em um mapa estão em suas posições horizontais verdadeiras relativas. Desta forma, a escala de um mapa, quando feito conforme as normas cartográficas e aerofotogramétricas, é uniforme ponto a ponto. Mesmo assim alguns cuidados devem ser tomados com relação à determinação da escala (VIEIRA, 2005):

- a) Medidas de segmentos horizontais;
- b) Usar entroncamentos ou cruzamentos como ponto de referência evitando topo de árvores ou edifícios devido ao deslocamento da imagem pelo relevo;

- c) Diminuir erros relativos medindo-se segmentos longos;
- d) Medir segmentos que se cruzam a 90° para diminuir o efeito inclinação;
- e) Medir vários segmentos ou medir várias vezes o mesmo segmento, diminuindo o erro;
- f) Observar estereoscopicamente para estimar a superfície média ou mais frequente e procurar efetuar medidas nesse plano médio.

3.3. Interpretação de fotoimagens e imagens de satélite

Alguns elementos são necessários na interpretação de fotoimagens, principalmente quando se faz estudos de determinada área ou região. Sua interpretação pode ser definida como o ato de examinar fotoimagens com a finalidade de identificar objetos e seu significado.

Os elementos de interpretação podem ser definidos como elementos ou chaves de interpretação de imagens (FLORENZANO, 2002). Independente da resolução e escala, as fotoimagens e imagens apresentam elementos básicos para sua análise e interpretação, extraindo informações sobre os objetos, áreas ou fenômenos. Estes elementos são: cor, tonalidade, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão, localização.

Em diferentes citações (REIS e BRITO 2007; CORAZZA e PEREIRA FILHO, 2007), estes elementos podem vir associados a outros ou mesmo acrescidos de mais ou menos elementos, conforme discriminação contida na Tabela 1.

Tabela 1 – Chave de interpretação de fotoimagens e imagens de satélite.

CARACTERÍSTICA	DESCRIÇÃO
Cor	Utilizada para interpretar fotoimagens ou imagens coloridas, representadas em diferentes cores. O olho humano distingue cem vezes mais cores do que tons de cinza. Materiais do mundo real, vegetação, água, solo descoberto refletem diferentes proporções de energia no azul, verde, vermelho e infra-vermelho e outros do espectro eletromagnético.
Tonalidade	Utilizada para interpretar fotoimagens ou imagens em preto e branco, representadas em diferentes tons de cinza.
Textura	Refere-se ao aspecto liso ou rugoso dos objetos numa imagem, contendo informações quanto as variações de níveis de cinza ou cor de uma imagem.
Tamanho	O tamanho dos objetos dá-se em função da escala de uma fotoimagem ou imagem.
Forma	Alguns objetos, feições ou superfícies são identificados apenas com base na forma. Formas irregulares são indicadoras de objetos naturais enquanto que forma regulares podem indicar objetos construídos pelo homem.
Sombra	Pode ajudar a identificar e estimar a altura de objetos em imagens bidimensionais, mas também pode ocultar a visualização de objetos por ela encobertos.
Altura	Utilizada para interpretação tridimensional de imagens. Também conhecido como elevação e batimetria.
Padrão	Refere-se ao arranjo espacial ou à organização dos objetos em uma superfície.
Localização	Pode ajudar a identificar áreas urbanas, cuja proximidade a rodovias, rios e litorais.

Corazza e Pereira Filho, 2007.

Os quatro elementos mais importantes na interpretação humana de imagens em geral são: cor, textural, temporal e contextual. O elemento espectral descreve as variações tonais

médias banda a banda numa imagem multiespectral, enquanto que o elemento textural descreve a distribuição espacial dos valores tonais numa banda. O elemento contextual contém informações sobre o arranjo relativo de grandes segmentos pertencentes a categorias diferentes e o elemento temporal descreve as mudanças nos atributos da imagem em função do tempo, ou seja, das diferentes datas de aquisição das imagens .

Segundo Haralick et al. (1973), a textura e a tonalidade estão sempre presentes em uma imagem e são propriedades intrinsecamente relacionadas, embora uma propriedade possa dominar sobre a outra. Quando uma área pequena de uma imagem tem pouca variação de níveis de cinza, a propriedade dominante é a tonalidade, caso contrário, a propriedade dominante é a textura.

A textura pode ser definida como sendo a variabilidade de tons de cinza vizinhos ou o padrão das relações espaciais entre os níveis de cinza dos *pixels* vizinhos (MATHER, 1999). Pode ser rugosa, se o padrão espacial for bem definido por conter várias células de resolução, ou lisa, se não houver padrão espacial de variação. Para entender melhor a questão da textura, pode-se observar a Figura 3.

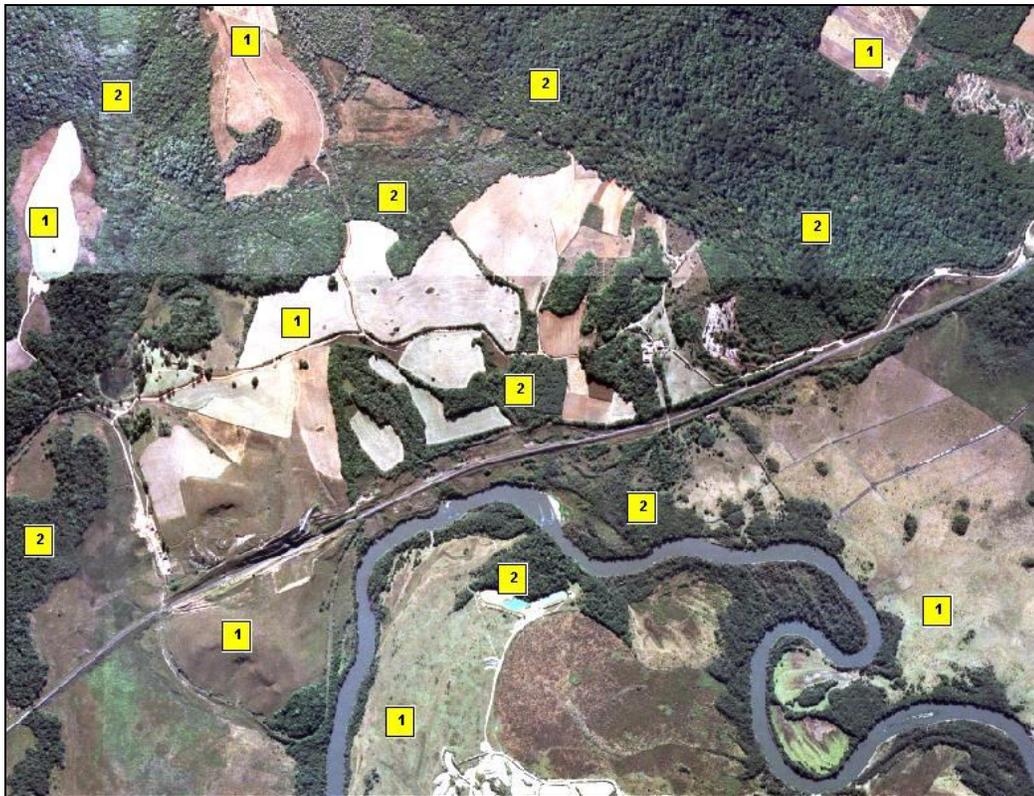


Figura 3 – Exemplo de textura lisa (1) e rugosa (2) em parte de uma ortofotografia digital do ano de 2000.

Observa-se na Figura, em que as áreas de agropecuária estão apresentadas com o número 1, representando as texturas lisas, enquanto que as áreas de floresta natural, apresentam-se pelo número 2, estabelecidas em todo lado norte da Figura e em alguns pontos acompanhando o leito do rio.

As fotoimagens continuam sendo utilizadas em trabalhos voltados ao estudo do uso e cobertura da terra, possibilitando sua avaliação multitemporal, em um aspecto global.

Para Lima (2001), sistemas sensores fotográficos ou sensores remotos de baixa altitude são muito empregados em levantamentos para mapeamento do uso da terra, pois ganham tempo e precisão de limites, além de permitir visão geral da paisagem.

Martins et.al. 2008, estudando a dispersão de *Phytophthora cinnamomi* em castanheiras ao norte de Portugal, utilizou fotografias aéreas de pequeno formato, entre os anos de 1995 e 2004, tendo constatado o aumento da mortalidade de árvores de *Castanea sativa*, pela expansão da doença conhecida como tinta do castanheiro. É um exemplo que demonstra o uso dos elementos chave de interpretação no que diz respeito às características de cor e tonalidade.

Santos e Cardoso (2008), estudando a microbacia do Ribeirão do Faxinal, em São Paulo, utilizaram fotografias aéreas dos anos de 1972 e 2000, nas escalas 1:25.000 e 1:30.000, respectivamente, constatando que as áreas de vegetação natural haviam sofrido alterações devido ao crescimento de áreas com reflorestamentos. As áreas de vegetação ciliar, entretanto, haviam sofrido incremento, o que demonstra a conscientização da preservação de mananciais de água. Neste caso percebe-se que, dentre os elementos chave de interpretação, as características utilizadas para diferenciar entre a vegetação nativa e o reflorestamento está na forma regular do segundo em comparação com a forma irregular do primeiro, bem como a diferença de texturas existente.

3.3.1. Fotogrametria

Trata-se da arte e ciência de realizar medições precisas. Divide-se em terrestre, aérea e espacial. Por meio de fotoimagens, que podem ser analógicas ou digitais. As primeiras utilizam dados em formato palpável, ou seja, impressas em papel fotográfico, em geral, no formato 23 cm x 23 cm, a segunda por meio de computador e fotoimagens digitais ou

digitalizadas. Nenhum dos métodos é superior ao outro, dependendo da natureza dos dados de sensoriamento remoto e dos objetivos da análise da imagem (JENSEN, 2009).

As fotoimagens ou aerofotos podem ser em preto e branco, coloridas ou infravermelho (preto e branco ou colorido). Devem conter data e hora da exposição, código do projeto, número do rolo, número da imagem, escala aproximada, nome do projeto e marcas fiduciais.

3.4. Resolução

As fotoimagens obtidas em 1980, apresentam-se com escala média 1:25.000, significando que, na foto, a cada um centímetro corresponde a 25.000 cm do terreno ou superfície original, enquanto que, as ortoimagens digitais do ano 2000 estão dispostas na escala média 1:10.000, significando assim que, a cada um centímetro corresponde a 10.000 cm do terreno ou superfície original.

A resolução espacial de uma imagem determinará o tipo de aplicação para a qual pode ser utilizada, em função da escala de trabalho ou detalhamento desejado da superfície terrestre. As feições apresentadas são representadas de formas diferentes em imagens de resoluções espaciais diferentes, permitindo a caracterização da superfície de acordo com a quantidade de informações apropriadas para aplicações em escalas diferentes. Contudo, a resolução espacial é diferente de resolução gráfica, que é medida por dpi – *dot pitch inch*, que são pontos por polegada quadrada.

Entende-se por resolução espacial a medida da habilidade que o sistema sensor possui em distinguir objetos que estão próximos espacialmente ou respostas que são semelhantes, espectralmente entre si (MORAES, 2008), e podem ser:

- a) **Resolução espacial:** Mede a menor separação angular ou linear entre dois objetos, e refere-se ao IFOV – *Instantaneous Field of View*, que corresponde à área sobre o terreno, que é vista pelo sistema sensor a uma dada altitude num dado instante de tempo. O IFOV pode ser medido de duas maneiras: em relação ao ângulo de incidência ou em relação a uma distância no terreno (X, Y).
- b) **Resolução espectral:** Define a largura espectral das medidas do sensor, ou seja, quanto maior o número de medidas menor, num determinado intervalo espectral, será o intervalo de comprimento de onda (bandas espectrais). Para Novo (1989),

resolução espectral é uma medida da largura de faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno.

- c) **Resolução radiométrica:** Capacidade do sistema em detectar pequenos sinais. A radiação eletromagnética, refletida e/ou emitida pelos alvos da superfície terrestre possui valor de intensidade que difere de um alvo para outro. Para certos comprimentos de onda, uma vegetação reflete e/ou emite muito menos energia do que uma placa de zinco. Entretanto, certos alvos, apesar de serem diferentes, refletem ou emitem a radiação eletromagnética com valores de intensidade muito próximos entre si, tornando-se quase idênticos espectralmente. Assim, a resolução radiométrica de um sensor refere-se à capacidade que este sensor tem de poder discriminar, numa área imageada, alvos com pequenas diferenças de radiação refletida e/ou emitida. A quantidade de níveis de cinza que um dado produto de satélite pode apresentar depende do sistema de gravação do sensor. Se os sinais são gravados em 2 bits, a resolução radiométrica será de 4 níveis digitais ou níveis de cinza. Isso quer dizer que, se numa dada área imageada por este sensor, tiver 50 alvos com reflectâncias diferentes, essas reflectâncias serão representadas por apenas 4 níveis de cinza. Percebe-se então que muitos desses alvos serão agrupados numa única classe, ou seja, haverá um agrupamento de alvos cujos valores de reflectâncias serão próximos entre si, devido à pequena variação de nível de cinza. Para calcular a resolução radiométrica emprega-se a expressão 2^n , sendo “n” o número de bits utilizados na gravação dos dados no instante do registro da energia refletida.
- d) **Resolução temporal:** É função das características da plataforma na qual o sensor está embarcado. Indica o intervalo de tempo que o sensor leva para voltar e recobrir a área de interesse, permitindo um acompanhamento dinâmico dos alvos sobre a superfície terrestre. Para Jensen (2009), resolução temporal de um sistema de sensoriamento remoto se refere ao intervalo de tempo em que o sensor registra imagens de uma área particular, como por exemplo, Landsat TM5, sua resolução temporal é de 16 dias.

3.5. Ortoimagem digital

Ortoimagens são criadas a partir de imagens de sensoriamento remoto. A geometria de uma fotografia digital não retificada altera-se de um feixe cônico de raios para uma geometria de raios paralelos ortogonais ao solo e ao plano da imagem no caso de fotografia ortorretificada. São fotografias aéreas geometricamente corrigidas em x , y e z . A ortoreimagem digital tem equivalência geométrica ao mapa de traço, onde todos os pontos apresentam-se na mesma escala possibilitando medidas e vetorizando de forma precisa.

Define-se ortoreimagem digital como uma imagem fotográfica onde as feições nela contidas são apresentadas em suas verdadeiras posições, sendo dessa forma, geometricamente equivalente a um mapa de linhas e de símbolos, onde podem ser realizadas diretamente medidas de posição, distâncias, ângulos horizontais e áreas (FURQUIM, 2010).

Sua aquisição consiste da cobertura aerofotogramétrica obtendo-se imagens sequenciais sobrepostas, no mínimo 60% de recobrimento longitudinal, e 10% a 30% de recobrimento lateral, como ilustra a Figura 1.

Após sua digitalização através de scanner, são submetidas à estereoscopia, que é a reprodução tridimensional pela sobreposição da fotoimagem. Restituídas as curvas de nível e interpoladas as coordenadas de pontos X , Y e Z , geralmente disponibilizadas em uma malha regular e um MDT – modelo digital do terreno. Esta imagem pode ser considerada uma carta ou uma ortofotocarta digital, desde que inseridos dados cartográficos. Como demonstra a Figura 4, o efeito perspectivo de fotoimagens após retificação.

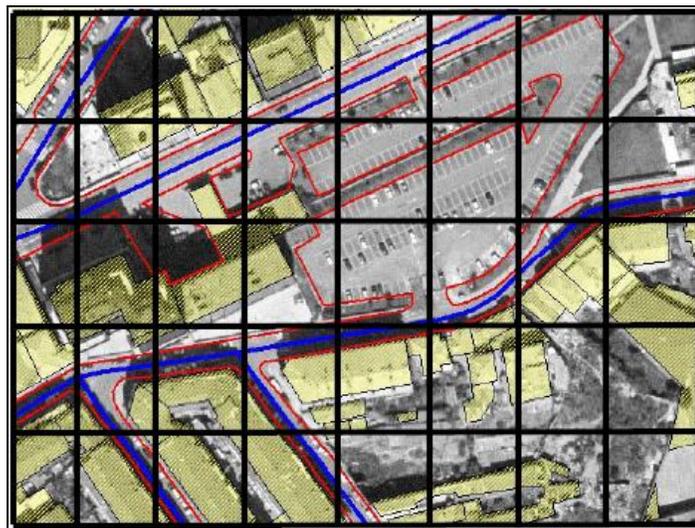


Figura 4 – Fotoimagem e efeito perspectivo ortorretificado (IBGE, 2009).

O princípio básico consiste no processo de transformação da projeção central na imagem (fotoimagem rasterizada) em projeção ortogonal ao plano, mediante métodos digitais. Para isso são necessários pontos de controle, MDT e parâmetros da câmera (FURQUIM, 2010).

As ortoimagens digitais são aplicadas em diversos trabalhos, como: regularização fundiária, oleodutos, eletrificação rural, rede viária, mapeamento florestal, projetos de monitoramento ambiental, anteprojetos de barragens, cadastro, projetos de restauração, entre outros.

As ortoimagens digitais apresentam ainda algumas vantagens:

- a) Possibilidade do uso da imagem em sistemas de informações geográficas;
- b) Flexibilidade de escalas na saída gráfica;
- c) Maior facilidade de atualização;
- d) Maior eficiência, produtividade e flexibilidade;
- e) Economia de custos;

Porfírio e Boggione (2003) utilizaram a classificação supervisionada em ortoimagens digitais, com resolução espacial de um metro, para determinar o uso e ocupação do solo em uma parcela de área que seria inundada pelo represamento do rio Maranhão, em Padre Bernardo-GO.

3.6. Mosaicagem

Pressupõe um percentual mínimo de superposição entre as imagens vizinhas permitindo uma montagem adequada do mosaico. É feito através do recorte e montagem das fotoimagens, de forma a dar a impressão de que todo conjunto é resultante de uma única tomada de fotografia.

Para Marchetti e Garcia (1982), mosaico aerofotográfico é a reunião de duas ou mais fotografias, recortadas e sistematicamente coladas para formar uma vista geral da área que foi fotografada, mostrando toda área imageada. São usados com propósito de estudar recursos naturais. Agrupam-se em duas categorias: controlados e não controlados.

O mosaico controlado é a reunião de fotoimagens retificadas, pela ajuda de pontos de controle. Quase todos os erros são eliminados e assim as medidas reais podem ser obtidas

diretamente sobre o mosaico. Nos mosaicos controlados a montagem é feita utilizando-se pontos de controle, os quais devem ser definidos e distribuídos uniformemente, onde suas coordenadas podem ser obtidas pelos seguintes processos: levantamento topográfico amarrado à rede geodésica fundamental, receptores de sinais de satélite do sistema GPS (*Global Position System*) e cartas topográficas do mapeamento sistemático.

Mosaicos não controlados apresentam-se pelos detalhes das fotoimagens, ora acertados sem a utilização de pontos de controle e da triangulação radial. Somente a área central de cada fotografia deve ser usada, além de que sua escala pode não ser uniforme, não permitindo medir distâncias precisas sobre os mesmos. As fotoimagens são unidas sem nenhum tipo de controle geométrico.

A seguir, pela Figura 5, apresenta-se um exemplo de mosaico controlado a partir de fotoimagens.



Figura 5 – Mosaico controlado a partir de fotoimagens (IBGE, 2009).

3.7. Sensoriamento remoto

Entende-se por sensoriamento remoto a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento e transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a

radiação eletromagnética e as substâncias componentes da Terra, em suas mais diversas manifestações (IBGE, 2009).

A radiação eletromagnética propaga-se no vácuo a uma velocidade de 300.000 Km/s, varia senoidalmente e está correlacionada diretamente com o comprimento de onda e a frequência. Comprimento de onda (λ) é definido pela distância média entre dois pontos semelhantes da onda, ou seja, dois mínimos e dois máximos.

$$\lambda \rightarrow \mu m \text{ onda}, 1\mu m = 1 \times 10^{-6} \quad (02)$$

A frequência (f) é o valor recíproco do período das ondulações, isto é, do intervalo de tempo entre dois pontos consecutivos de mesma intensidade. A frequência é diretamente proporcional à velocidade de propagação da radiação, mas como essa velocidade é constante para um mesmo meio de propagação, para que haja alteração na frequência é necessário que haja alteração no comprimento de onda, explicitado pela Equação 3.

$$V = \lambda \times f \Rightarrow \lambda = V/f \quad (03)$$

Onde,

V = velocidade da luz = 300.000 Km/s

f = frequência, medida em Hertz (Hz)

3.7.1. Energia eletromagnética

O Sol é a fonte principal de radiação natural, cuja emissão corresponde à de um corpo negro, a uma temperatura aproximada de 6.000 K, o que medido no espaço acima da atmosfera produz um espectro de energia contínuo ao longo dos comprimentos de onda, ilustrado na Figura 6.

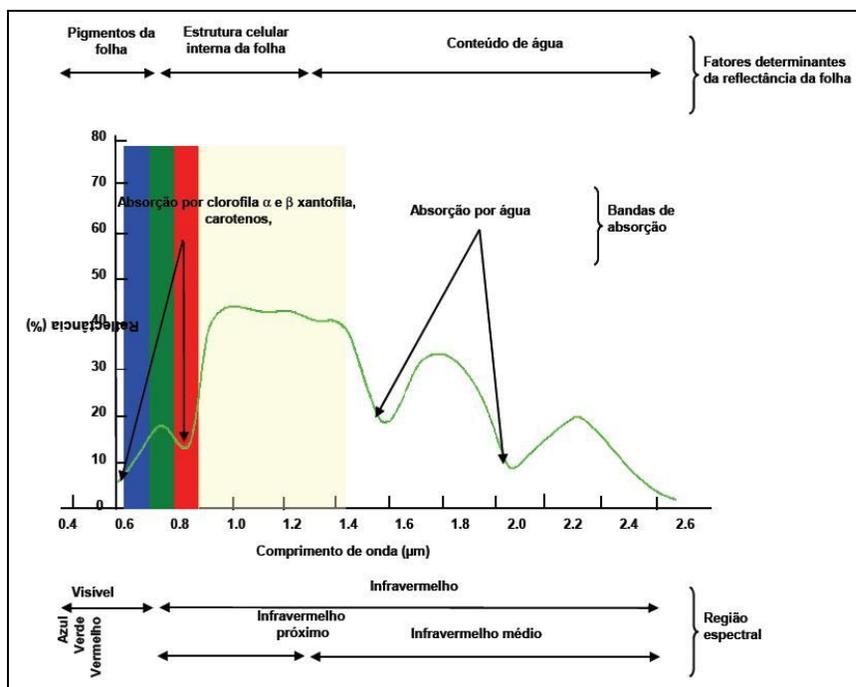


Figura 6 – Comportamento espectral da vegetação (Ferreira, 2005).

Observa-se à esquerda o correspondente as técnicas utilizadas nas fotoimagens e imagens óticas utilizadas neste trabalho.

No sensoriamento remoto por sistemas passivos, a faixa espectral mais utilizada vai do ultravioleta (UV) ao infravermelho afastado (FIR, *far infra red*). a intensidade máxima de radiação solar é de $\lambda = 0,47 \mu m$, cuja diminuição energética na direção do UV se passa mais rápido, e sua diminuição na direção do FIR fica marcada por uma curva irregular. O sensoriamento remoto por sistemas passivos utiliza intervalos de 0,2 a 12,5 μm , dividido em bandas espectrais.

A banda espectral do visível é representada por um pequeno intervalo entre 0,4 e 0,7 μm , seguida pelo infravermelho (IR), podendo chegar até 1000 μm . O IR possui divisões desde o IR Próximo ou Reflexivo (NIR) até o IR Afastado ou Emissivo (FIR). O NIR comporta-se como a luz visível, provocado também pela reflexão solar, enquanto o FIR é caracterizado pela radiação térmica reemitida pela Terra ou alvo.

O grau de transmissão representa a capacidade das ondas eletromagnéticas penetrarem a atmosfera. As janelas atmosféricas, que são faixas do comprimento de onda para as quais a atmosfera parece transmissível. As janelas mais importantes localizam-se na faixa do visível e no IR, com intervalos entre 0,4 e 0,7 μm , 0,7 e 2,5 μm , de 3,5 a 4,0 μm e de 8,0 a 12,0 μm .

3.7.2. Características espectrais dos alvos

Baseia-se no fato de que diferentes materiais são caracterizados por reflectâncias próprias em cada banda do espectro. A reflectância, ou fator de reflexão, é proporcional à razão da radiação refletida pela radiação incidente. Quando há conhecimento de respostas espectrais de vários materiais, as propriedades dos alvos desconhecidos podem ser determinadas pela comparação das respostas espectrais desses alvos com os dados de referência.

3.7.3. Características de reflexão e espectro da vegetação

No intervalo de 0,4 até 2,5 μm , as folhas são caracterizadas por comportamentos específicos de reflexão, absorção e transmissão, como ilustra a Figura 7.

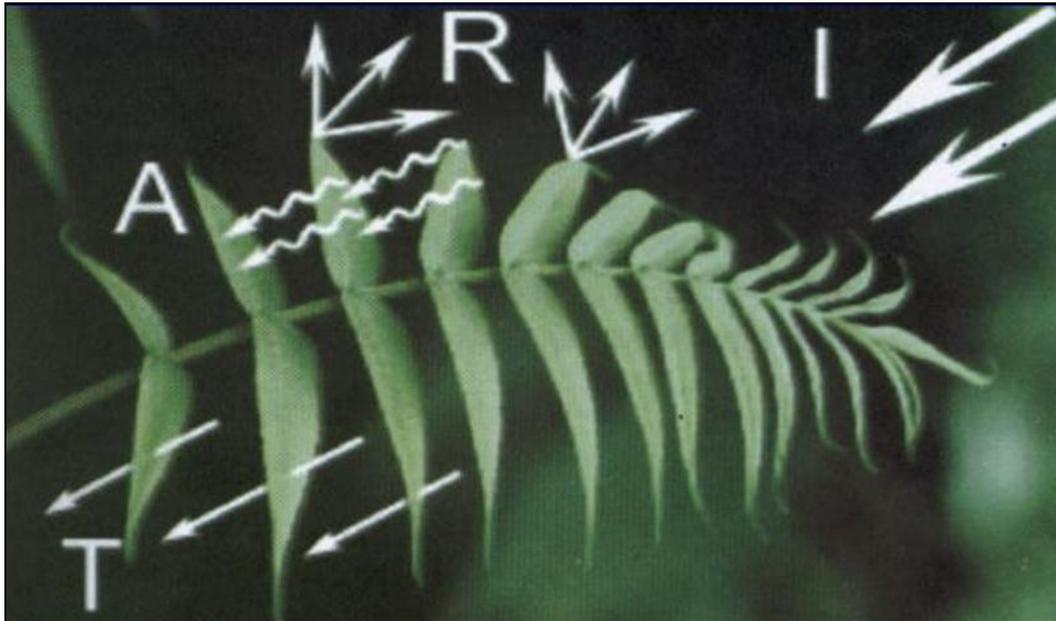


Figura 7 – Possíveis trajetórias das radiações eletromagnéticas, interação da energia solar com a folha: radiação incidente (I), energia refletida (R), parte absorvida (A) e parte transmitida (T), (Santos, 2010).

Na banda espectral do visível, o comportamento da reflexão é determinado pela clorofila, com absorção no intervalo da luz azul (0,4 – 0,5 μm) e da luz vermelha (0,6 – 0,7

μm); e sua reflexão no intervalo de luz verde ($0,5 - 0,6 \mu m$). A radiação incidente atravessa a cutícula e a epiderme, cujas radiações correspondentes ao vermelho e ao azul são absorvidas pelos pigmentos do mesófilo e dos carotenóides, xantofilas e antocianinas, causando uma reflexão característica baixa. As clorofilas A e B regulam o comportamento espectral da vegetação de maneira mais significativa em comparação com outros pigmentos. A clorofila absorve a luz verde em pequena quantidade, desta forma a reflectância é maior no intervalo da luz verde, responsável pela cor verde das folhas para a visão humana, Figura 8, e também nos sensores do visível.

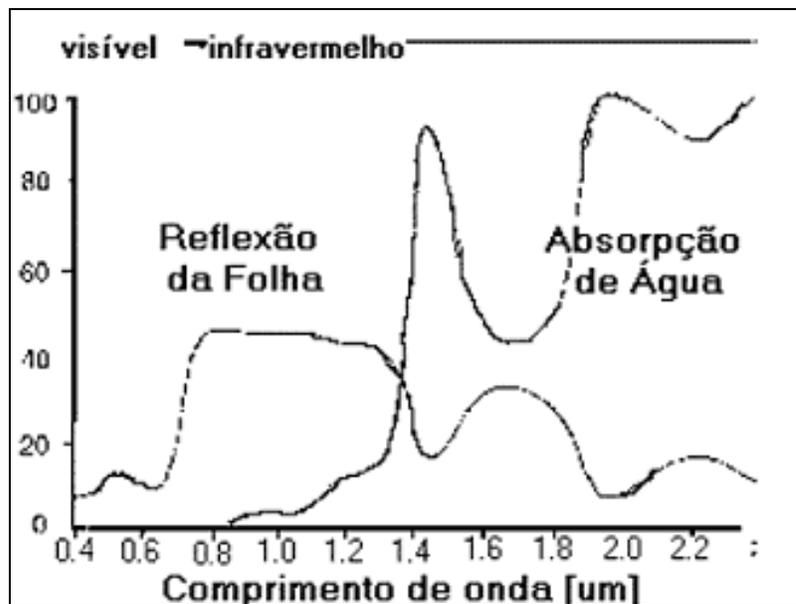


Figura 8 – Refletividade espectral de uma folha e a capacidade de absorção de água para radiação no VIS e NIR (INPE, 2007).

No NIR (infravermelho próximo ou reflexivo), $0,7 - 1,3 \mu m$, dependendo do tipo da planta, a radiação pode ser refletida em uma proporção de 30 a 70% dos raios incidentes, mesmo as folhas e os pigmentos sendo transparentes para estes comprimentos de onda. O mínimo de reflexão neste comprimento de onda é causado pela mudança do índice de refração nas áreas frontais de ar/célula do mesófilo. Apresenta-se pela Figura 9 o espectro do sensoriamento remoto passivo.

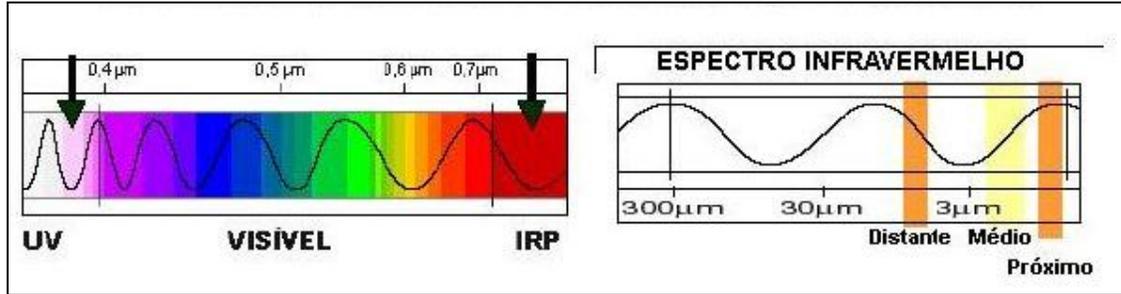


Figura 9 – Espectros do sensoriamento remoto passivo (INPE, 2010).

Em comprimentos de onda acima de $1,3 \mu m$, o conteúdo de água nas folhas influencia a interação com a radiação. A água dentro da folha absorve especialmente nas bandas em torno de $1,45$ e $1,96 \mu m$, tal influência podendo aumentar com o conteúdo de água. Estes comprimentos de onda prestam-se à determinação do conteúdo hídrico das folhas. Quanto menor o conteúdo hídrico, maior a reflexão. Entretanto, a curva espectral depende do tipo de planta, inclusive, altera-se em função da estrutura e da organização celular.

Para analisar melhor os dados registrados, tem que se ter o cuidado em relação ao tipo de imagem com a qual se deseja trabalhar, ou seja, no que diz respeito à resolução espacial da imagem obtida, dependente do sensor utilizado, bem como das bandas espectrais que melhor darão o resultado esperado, de acordo com o estudo proposto. Somente a partir dos registros das imagens e da definição dos padrões se iniciam os testes para avaliação preliminar de remanescentes, proporcionando maior exatidão dos resultados esperados com relação à área de estudo e no processo de detecção.

3.8. Sistemas sensores

Um sistema sensor pode ser definido como qualquer aparelho que transforma alguma forma de energia em um sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente, e esta energia utilizada é a radiação eletromagnética (IBGE, 2009). Quanto aos sistemas operantes podem ser ativos e passivos. Os primeiros são aqueles que possuem sua própria fonte de radiação a qual incide sobre um alvo, o sistema sensor registra os sinais de retorno cujas características estão associadas às propriedades dos alvos. O segundo tipo de sistema, o passivo, registra as radiações diretas ou refletidas de fontes naturais, isto é, dependem de uma

fonte de radiação externa para que possam operar. Podemos citar como exemplo de um sensor ativo uma câmera fotográfica com flash no escuro, já um sensor passivo, cita-se esta mesma câmera fotográfica, porém, com o flash desligado, durante o dia, utilizando somente a radiação solar.

Quanto ao tipo de transformação sofrida pela radiação detectada, podem ser não-imageador, ou seja, não fornecem imagem da superfície sensoriada, mas registros na forma de dígitos ou gráficos; e os imageadores, que fornecem, mesmo que por via indireta, imagem da superfície observada através de sistema de quadro ou varredura.

Sistemas de quadro adquirem imagem total da cena num mesmo instante, como se observa na Figura 10a.

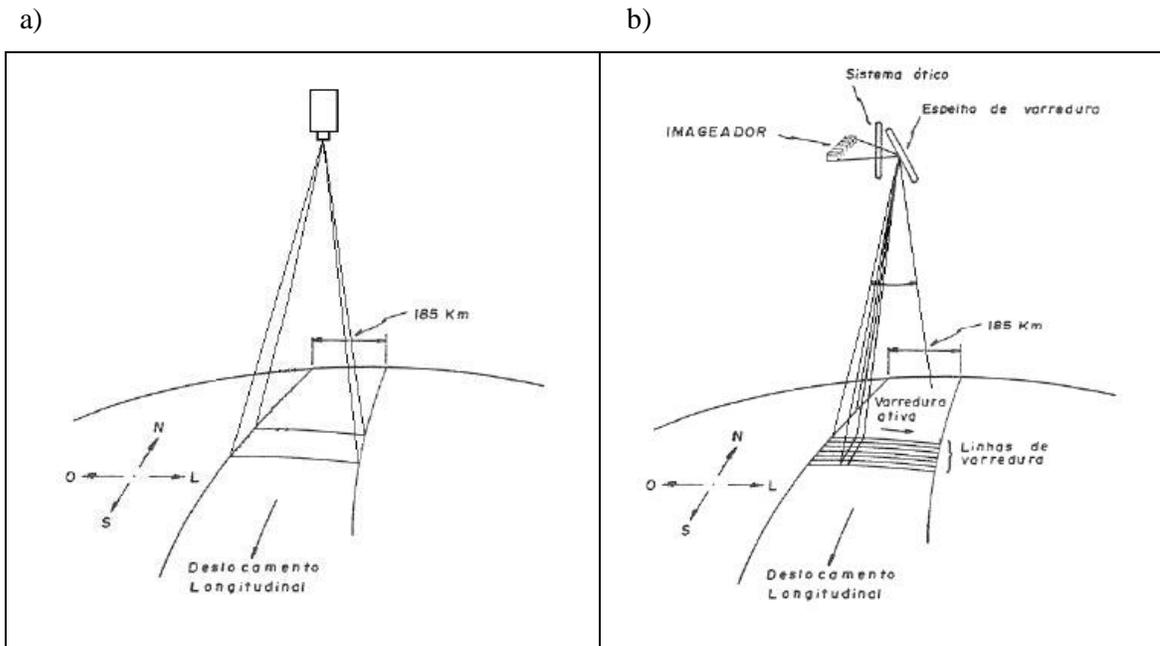


Figura 10 – Exemplo de aquisição de imagens de satélite por sistema de quadro em a e em b por sistema de varredura (Batista, 2003).

Também chamado de *framing systems*, o sistema de quadro tem por objetivo a aquisição de imagens total em relação à superfície imageada.

Já nos sistemas de varredura, a imagem da cena é formada pela aquisição sequencial de imagens elementares do terreno ou elementos de resolução, chamados de pixels, ilustrado na Figura 10b. Chamado também de *scanning systems*, a imagem da cena é formada pela aquisição sequencial dos elementos de resolução, que são os pixels (em linhas, ponto a ponto).

3.9. Imagens de satélite

A utilização de imagens de satélite deu-se na década de 70, quando do lançamento dos primeiros satélites artificiais na atmosfera terrestre. Com isto tornaram-se possível os mais diferentes estudos das feições terrestres, sua geomorfologia, fontes de captação de recursos hídricos e florestais, além é claro de monitorar o ambiente como um todo. Como imagem orbital considera-se a aquisição de dados de sensoriamento remoto através de equipamentos sensores coletores a bordo de satélites artificiais (IBGE, 2009).

No sistema de sensoriamento remoto do satélite Landsat 5 a produção de radiação que retorna ao sensor é direcionada para vários detectores, recebendo cada um deles comprimento de ondas diferentes, gerando sete bandas distintas do espectro eletromagnético, conhecido como sensor multiespectral. Sua resolução temporal é de 16 dias, com resolução espacial de 30 metros, e uma área de abrangência de 185 km x 185 km. Entretanto, a banda seis possui resolução espacial de 120 metros. Para tanto deve-se lembrar que o mapeamento temático a partir de cada uma dessas bandas depende das características da área em estudo, época do ano ou variações regionais e também que sua interpretação tende a se tornar mais fácil quando se dispõe de conhecimento de campo (INPE, 2010).

Originalmente o sistema Landsat foi denominado ERTS – *Earth Resources Technology Satellite*, e foi desenvolvido com o objetivo de se obter informações para aplicações no inventário e manejo de recursos naturais terrestre. Em seguida, na Tabela 2, observa-se as principais características e aplicações das bandas utilizadas nesse trabalho pelo sensor TM Landsat 5.

Tabela 2 – Características espectrais de imagens Landsat 5 e 7.

BANDA	INTERVALO ESPECTRAL (μm)	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DAS BANDAS <i>TM E ETM DOS SATÉLITES LANDSAT 5 E 7</i>
3	(0,63 - 0,69)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	(0,76 - 0,90)	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com <i>pinus</i> e <i>eucalipto</i> . Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	(1,55 - 1,75)	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.

INPE, 2010.

3.10. Detecção de mudanças empregando produtos de sensoriamento remoto

Jensen (2007) especifica que para obter sucesso do sensoriamento remoto na detecção de mudanças requer atenção redobrada quanto às características do sistema sensor e os

aspectos ambientais a estudar. A incapacidade de compreender o impacto dos diferentes parâmetros sobre o processo de detecção de mudanças poderá levar a resultados imprecisos.

Uma das principais aplicações de sensoriamento remoto para o estudo do meio ambiente é possível por sua capacidade de seguir processos dinâmicos. Devido a tratar-se de dados fornecidos por um sensor situado em uma órbita estável o que permite a aquisição repetitiva das mesmas cenas. As imagens de sensoriamento remoto são de grande importância no estudo de mudanças que acontecem sobre a superfície terrestre, sejam estas de origem natural ou antrópica (CHUVIECO, 1996).

Técnicas de detecção de mudanças são utilizadas para desenvolver estudos ambientais, principalmente em relação à vegetação. Esses métodos, que possibilitam detectar as alterações no uso e cobertura da terra podem ser realizados através de técnicas visuais ou digitais. Essas técnicas consistem em comparar imagens de datas distintas, interpretando e mapeando áreas onde ocorreram alterações.

Algumas técnicas digitais de detecção de mudanças podem ser: imagem diferença, diferença de índice de vegetação, análise do vetor de mudança, análise das componentes principais, comparação pós-classificação e rotação radiométrica controlada por eixo de não-mudança.

3.10.1. Detecção de mudança por imagem diferença

Esta técnica envolve álgebra de imagens cujas operações aritméticas são aplicadas aos pixels em cada imagem, obtendo-se a partir dos valores resultantes a imagem de mudança. A imagem diferença ou imagem mudança é uma operação de subtração realizada em um par de imagens co-registradas de uma mesma área adquirida em datas diferentes (MATHER, 1999). Seu objetivo principal é realçar as pequenas diferenças espectrais originadas por diferenças dos níveis de cinza.

Subtração de imagens e razão entre bandas são mais utilizadas para detectar mudanças abruptas, enquanto que análise de componentes principais e análise do vetor de mudança são mais eficazes para identificar alterações sutis como mudanças de sazonalidade ou degradação florestal lenta (SILVA, 2004).

Miura (2009) utilizou o método da imagem diferença na detecção do uso das terras no município de Pelotas-RS, entre 1985 a 2007. Este procedimento foi executado com o módulo de operações matemáticas de bandas e de pós-classificação no programa ENVI.

3.10.2. Detecção de mudança por diferença de índice de vegetação

Outra técnica utilizada é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), de índice de vegetação normalizado, cuja relação é com a quantidade de folhas verdes numa determinada área. Esta característica foi associada ainda à possibilidade de estudar a dinâmica da vegetação (TUCKER et. al., 1985).

3.10.3. Detecção de mudança por análise do vetor de mudança

É uma técnica utilizada para detectar e caracterizar mudanças radiométricas em um conjunto de imagens multitemporais, cuja definição pela diferença na posição espectral de um mesmo pixel em tempos diferentes de sua trajetória, representado em um espaço de bandas construído em n-dimensões e descrito em termos de magnitude e de ângulos que indicam a intensidade e a natureza de mudanças na superfície da terra (GRAÇA, 2004). A magnitude do vetor de mudança fornece a medida da intensidade de mudança entre as posições dos pixels e datas sucessivas e é calculada através da distância euclidiana ou distância métrica, que é a distância entre dois pontos. A diferença na resposta espectral de um mesmo pixel em momentos diferentes de sua trajetória forma um espaço vetorial, definindo um vetor de mudança.

3.10.4. Detecção de mudança por análise de componentes principais (ACP)

A análise por componentes principais é um método estatístico, podendo ser usado para fazer correlações entre imagens de satélite e através dele detectar mudanças na cobertura vegetal. Considerada uma das funções mais poderosas de processamento de imagens em relação a manipulação de dados multitemporais (CROSTA, 1992).

Carrilho (1996), estudando uma região de cerrado, se utilizou de imagens do sensor TM do satélite Landsat 5 e da técnica de detecção de mudanças ACP, constatando que foi adequada a seus estudos.

Nos estudos de detecção de mudanças não há necessidade de utilização de todas as bandas da imagem, somente as de interesse (MALDONADO, 1999).

3.10.5. Detecção de mudança por comparação pós-classificação

Esta técnica de detecção de mudanças é realizado por meio de análise comparativa de duas imagens classificadas, produzidas independentemente, pertencentes a dois períodos distintos, na qual pares de diferentes classes são utilizadas para indicar as áreas com alterações (MAS, 1999).

Acharya (2002), estudando a área rural do distrito de Chitwan, Nepal, utilizou imagens Landsat TM dos anos de 1988, 1992 e 2000 e as técnicas de comparação pós-classificação. Verificou que esta técnica forneceu informação detalhada de provável mudança ocorrida entre três datas. Ainda, verificou que esta técnica pode vir a apresentar problemas em virtude de erros na classificação ou no registro anteriores à sua realização.

Um dos métodos mais simples é a comparação pós-classificação, pois, as imagens temporais são previamente classificadas individualmente de forma manual ou ainda utilizando métodos computacionais e em seguida comparadas, podendo ainda utilizar o método de tabulação cruzada. Também são utilizados métodos de detecção de mudanças as quais efetuam operações matemáticas de adição e subtração entre bandas de duas datas distintas. Muito empregado na identificação de desmatamento e mudança no uso das terras (WEISMILLER, 1977).

Para Souza (2007), esta é uma técnica muito óbvia, pois consiste em classificar duas imagens separadamente, pixel a pixel para depois comparar as classes pertencentes a primeira e segunda data. Em relação a classificação supervisionada, há necessidade de intervenção humana, identificando padrões existentes na imagem e suas classes, deixando que em seguida o computador selecione regiões homogêneas entre si. Na classificação não supervisionada, o próprio computador seleciona e classifica essas regiões.

Esta técnica é menos sensível às variações espectrais dos alvos nas diferentes épocas do ano, pois classes que apresentam diferenças muito grandes no que diz respeito a sua

assinatura espectral, entre as imagens de cada data, podem ser mantidas dentro da mesma classes correspondente ao seu uso e cobertura da terra.

Segundo Singh (1989) e Canty (2007), esta técnica possui vantagens e desvantagens, pois o sucesso deste tipo de abordagem depende da escolha das classes, devendo ter o cuidado na escolha destas. Como vantagem destaca-se que as classificações independentes minimizam problemas decorrentes de efeitos atmosféricos, luminosidade e sensor entre as duas datas. Ainda que, a matriz de mudanças resultante da comparação entre as duas classificações também constitui vantagem devido a simplicidade de interpretação.

Há necessidade, para utilização desta técnica, que o fotointérprete esteja familiarizado com a área de estudo, bem como evitar ao máximo a ocorrência de erros na classificação das imagens.

3.10.6. Rotação radiométrica controlada por eixo de não mudança (RCEN)

A RCEN é uma transformação linear que produz uma rotação dos eixos ortogonais do espaço de atributos radiométricos das imagens (de uma mesma banda espectral em datas diferentes), em relação ao eixo formado pela reta de regressão dos pontos rotulados no campo como não-mudança (MALDONADO, 1999). Este eixo descreve a correlação entre os pixels de não-mudança nas imagens da primeira (eixo “x”) e segunda data (eixo “y”), plotados em um espaço de atributos, obtendo-se assim, a reta de regressão dos pixels de não-mudança através da formulação:

$$Data2 = m * Data1 + I \quad (4)$$

Data2 = valor radiométrico na imagem da segunda data;

Data1 = valor radiométrico na imagem da primeira data;

m = coeficiente de inclinação da reta de regressão linear;

I = ordenada da origem ou "interseção y".

Nesta técnica o ângulo de rotação (α) é definido como o arco tangente do coeficiente de inclinação da reta de regressão linear dos pixels de não-mudança identificados previamente no terreno. O ângulo do eixo de não-mudança é expresso:

$$\alpha = \arctan(m) \quad (5)$$

α = ângulo do eixo de não-mudança;

m = coeficiente de inclinação da reta da regressão.

A partir desse ponto, com o eixo cartesiano da radiometria do par de imagens sendo rotacionado no sentido anti-horário até que o eixo "x" se torna paralelo ao eixo de não mudança, a imagem detecção de mudança é gerada baseada num sistema de equações que compõe a rotação simples, como indicado nas formulações:

$$XRes = X1\cos\alpha + X2\sin\alpha \quad (6)$$

$$XDet = -X1\sin\alpha + X2\cos\alpha \quad (7)$$

XRes= imagem residual (1a componente; sem valor analítico a ser considerado)

XDet = imagem detecção de mudanças (2a componente)

X1 = imagem de determinada banda espectral da primeira data

X2 = imagem de determinada banda espectral da segunda data

α = ângulo de rotação.

Essa técnica RCEN, proposta por MALDONADO et al. (2007), como ferramenta para detecção de mudanças na paisagem, é um método alternativo àquele de Análise por Componentes Principais – ACP, que faz também uma transformação linear, produzindo uma rotação dos eixos cartesianos do espaço de atributos da imagem em relação ao eixo de máxima variância (CRÓSTA, 1992). A modificação principal em relação à APC está nesse maior controle do ângulo de rotação, aumentando a eficiência da detecção, pois conforme já mencionado, é obtido pela tangente do coeficiente de regressão linear dos pixels de não mudança, definidos por conhecimento prévio de campo. Por seu lado, na APC a rotação está simplesmente associada a matriz de covariância das imagens, preservando o valor total da variância. A APC por utilizar imagens inteiras de todas as bandas, a partir de uma inspeção de cada pixel para o cálculo dos parâmetros estatísticos utilizados na rotação processada (CRÓSTA, 1993), a torna mais exigente em termos computacionais do que a técnica RCEN. A interpretabilidade das imagens de componentes principais requer atenção especial dos usuários, pois os valores dos pixels das bandas são convertidos em escores, não tendo

significado físico no terreno, o que torna necessário na análise, um bom conhecimento da área investigada. A Figura 11 apresenta um dispersograma da aplicação da técnica RCEN.

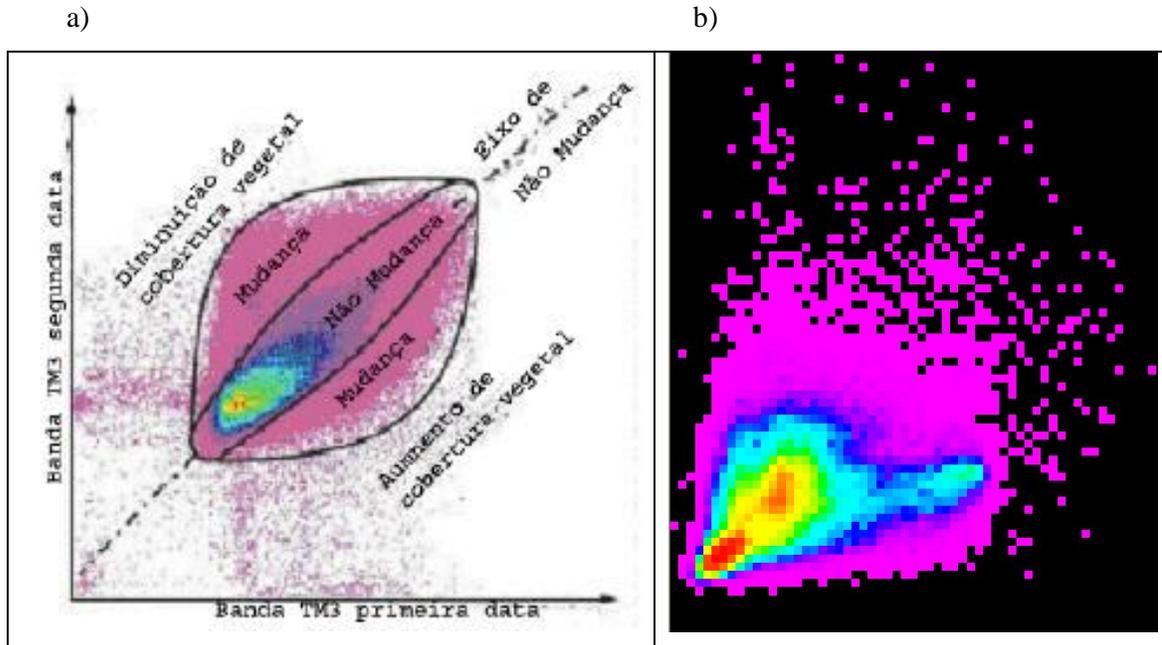


Figura 11 – Exemplo de dispersograma de um par de bandas multitemporal em *a*, apresentando mudanças que ocorrem ao eixo de não mudança (GRAÇA, 2004), e em *b*, do mesmo par de bandas (3), do que ocorreu entre 2001 e 2009 das imagens de satélite.

Ambas técnicas citadas (ACP e RCEN) dispensam, em geral, a necessidade de correções radiométricas e atmosféricas, pois grande parte das diferenças de baixas frequências nos dados multitemporais está associada às diferenças atmosféricas no momento de passagem do satélite ou da calibração do sensor (CHAVEZ et. al. 1991).

Maldonado e Santos (2005), analisando uma região do semiárido do nordeste brasileiro, aplicaram a técnica RCEN, utilizando imagens Landsat TM dos anos de 1984 e 2001, concluindo que a rotação radiométrica controlada na detecção de mudanças consiste em identificar áreas de mudanças obtendo resultados satisfatórios, não necessitando de correção atmosférica das imagens.

Maldonado et. al. (2002), estudando detecção de mudanças no semi-árido do nordeste brasileiro, utilizou imagens Landsat TM dos anos de 1984 e 1996 e ETM+ dos anos de 1999 e 2001, onde, pelo método RCEN, obtiveram resultados satisfatórios, combinando imagens de diferentes sensores.

Frau et. al. (2010), aplicando a técnica RCEN, com imagens Landsat TM, dos anos de 2004 e 2008, da região semi-árida de Maule, Chile, também obtiveram bons resultados nas categorias recuperação e degradação da vegetação.

O eixo de regressão descreve a correlação radiométrica entre os pixels de não-mudança das imagens da primeira e segunda data. Nesta técnica o ângulo (α) é conhecido como arco-tangente da inclinação da reta de regressão linear dos pontos de não-mudança e está baseada na interpretação dos indicadores de campo que permitem inferir sobre a estatística da paisagem. Alguns destes indicadores podem representar a estrutura adulta da cobertura vegetal, elementos arbóreos no estado adulto.

O parâmetro angular (α) se calcula como o arco-tangente do coeficiente de inclinação da reta de regressão (Maldonado e Santos, 2005). O ângulo (α) é o parâmetro principal da técnica de rotação, aplicando-se sobre a equação de transformação da RCEN (4). A equação produz uma rotação dos eixos ortogonais num espaço radiométrico dos valores da imagem, baseados na reta de regressão derivada da radiometria dos pontos de não-mudança.

Desta forma, aplicando a equação 8 duas vezes, uma para o par de bandas do vermelho (TM3) e outra para o IR (TM4) geram-se duas imagens intermediárias.

$$I_{int}(n) = -Data1 * \text{sen}(\alpha) + Data2 * \text{cos}(\alpha) \quad (8)$$

Onde:

n: bandas espectrais usadas (vermelho e IR);

lint (n): imagens intermediárias da banda espectral “n”;

Data 1: banda espectral da primeira data;

Data 2: banda espectral da segunda data;

sen (α): seno do ângulo de rotação;

cos (α): cosseno do ângulo de rotação.

A rotação dos eixos ortogonais do espectro de radiometria (em sentido anti-horário) em que a banda 1 ocupa o eixo X da data 2, eixo Y. O processo de rotação finaliza quando o eixo X passa a ser paralelo ao eixo de não-mudança da dispersão.

$$I_{detfinal} = I_{intB3} - I_{intB4} \quad (9)$$

Idetfinal: Imagem detecção final;
 IintB3: Imagem intermediária da banda 3;
 IintB4: Imagem intermediária da banda 4.

Finalmente, as duas imagens de detecção intermediárias são somadas para produzir, com a equação (9), a imagem de detecção final. O sinal na operação pode explicar-se porque as mudanças na cobertura vegetal estão relacionadas inversamente com as mudanças radiométricas no vermelho (TM3) e em forma discreta com as mudanças no IR (TM4). Deste modo quando há diminuição da cobertura vegetal, os valores da radiometria na banda do vermelho aumentam. Este aumento radiométrico quanto mais intenso, representa uma mudança maior ocorrida no terreno. Não ocorre o mesmo no IR próximo, onde a soma das imagens intermediárias, ao término, associadas ao IR são consideradas com sinal negativo.

3.11. Matriz de confusão

A matriz de confusão é um arranjo de números em colunas e linhas que expressa o número de unidades identificadas para uma classe particular, por dados de referência e por uma classificação temática. A matriz de confusão, segundo Story e Congalton (1986), é uma forma efetiva de representar a acurácia de um mapa, descrevendo as acurácias individuais de cada classe e os erros de comissão e de exclusão. Nesta, os casos de concordância temática entre a referência e o mapeamento encontram-se na diagonal principal, como ilustra a Tabela 3. Este número dividido pelo total de casos é chamada de acurácia total da classificação.

Tabela 3 - Esquema para a análise da matriz de confusão (Adaptado de Espírito-Santo e Shimabukuro, 2005).

Classes de Interpretação Visual	Classes de Interpretação Terrestre												Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	P													P(1-1...1-12)
2		P												
3			P											
4				P										
5					P									
6						P								
7							P							
8								P						
9									P					
10										P				
11											P			
12												P		P(12-1...12-12)
Total	P(1-1...12-1)											P(12-1...12-12)	Total	

Em que: P são pontos da diagonal principal.

Como se observa, uma das propriedades da matriz de confusão é a de representar todos os casos possíveis de não concordância entre a detecção digital e a verdade de campo. Embora a análise da matriz de confusão esteja centrada na diagonal principal, os valores fora da diagonal podem indicar detalhes sobre o desempenho da técnica de classificação utilizada (CONGALTON e GREEN, 1999).

No esquema da Tabela acima, o total arguido da soma dos pontos P(1-1...12-1) refere-se ao total de erros de omissão entre os pontos 1-1 ao 12-1, das colunas, e assim sucessivamente. Quanto aos erros de inclusão, estão dispostos ao total que aparece na coluna da esquerda, onde P(1-1...1-12) até P(12-1...12-12), ou seja, o total das linhas 1-1...1-12, a 12-1...12-12.

Segundo Centeno (2007), a matriz de confusão é uma forma de representar as contradições entre a verdade de campo e o resultado do processo de classificação. Numa situação ideal, onde todos os pixels são classificados corretamente, a matriz apresentará valores apenas na diagonal.

O objetivo da elaboração de uma matriz de confusão e sua estratificação espacial é a avaliação do desempenho das técnicas de detecção através da análise da confusão relativa entre classes de mudanças. A diagonal central é formada pelos casos rotulados no campo como não mudança. A matriz de confusão permite avaliar o desempenho das classes individuais observadas no mapa temático, através dos erros de comissão ou exclusão.

Erros de inclusão ou comissão correspondem ao número de pixels classificados em uma classe na qual eles não pertencem, já erros de omissão ou exclusão correspondem ao número de pixels que foram excluídos da classe que verdadeiramente representam (CONGALTON e GREEN, 1999). Matrizes de confusão são tabelas que mostram resultados de experimentos de classificação (SANTOS e BAYMA, 2009).

O conceito de exatidão está associado à taxa de erros de inclusão. Se os erros de inclusão são poucos, o mapa é considerado confiável (CENTENO, 2007).

A matriz de erro ou matriz de confusão é uma matriz quadrada de números que expressam a quantidade de unidades amostrais, associadas a uma dada categoria durante o processo de classificação efetuado, e a categoria real a que pertencem essas unidades (CONGALTON, 1991).

A classificação das áreas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 foi validada com o uso de dados de verdade de campo, coletados na ara de estudo através de pontos amostrais. Foram calculados a exatidão global, o índice Kappa e os erros de inclusão e omissão.

A partir dessa premissa, primeiro deve-se calcular a exatidão global. Para que isto fosse possível, seguiu-se alguns passos para obtenção da matriz de erro ou matriz de confusão, bem como do coeficiente Kappa.

- 1) Obtenção de pontos amostrais dentro do limite da área de estudo;
- 2) Identificação, em campo, das categorias de uso e cobertura da terra pertencentes a cada ponto amostral, para obtenção da referência terrestre;
- 3) Identificação, no levantamento, utilizando o mapa de uso e cobertura;
- 4) Montagem da matriz de erro ou matriz de confusão e cálculo do coeficiente Kappa.

Para o cálculo da exatidão global usa-se a seguinte equação:

$$EG = \frac{A}{N} * 100 \quad (10)$$

Onde:

EG= Exatidão Global;

A= Acerto geral (pontos amostrais com acerto);

N= Número de pontos amostrais.

3.12. Análise Kappa da matriz de confusão

A análise Kappa é uma técnica multivariada discreta, que determina se uma matriz de confusão é significativamente diferente de outra obtida de forma aleatória (Bishop et al., 1975). O objetivo da aplicação desta análise Kappa é obter o parâmetro estatístico K, que é considerado uma medida de concordância entre os dados reais e da classificação (representados na diagonal principal da matriz de confusão) e as ocorrências indicadas nos totais das colunas e linhas. Para qualificar os resultados das técnicas de detecção utiliza-se a informação constante da Tabela 4.

Tabela 4- Qualidade das cartas segundo o índice K.

VALOR DE K	QUALIDADE DA CLASSIFICAÇÃO
<0	Péssima
0-0,2	Ruim
0,2-0,4	Razoável
0,4-0,6	Boa
0,6-0,8	Muito Boa
0,8-1	Excelente

Silva, 2004.

Diversos autores, entre eles Congalton e Green (1999), consideram inaceitáveis valores de K menores de 0,60, embora reconheçam que este valor deve ser analisado conjuntamente com a variabilidade das classes mapeadas.

Para Moreira (2008), a exatidão da classificação torna-se necessário para comparar o mapa através da classificação dos dados de sensor com dados de referencia (verdade de campo).

A relação entre estes dois conjuntos informacionais geralmente é resumida em uma matriz de confusão ou tabela de contingência (LILLESAND e KIEFFER, 1994).

Para o índice Kappa, faz-se necessário o seguinte cálculo:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} + x_{+i})} \quad (11)$$

Onde:

K= Coeficiente Kappa de concordância;

N= Número de observações (pontos amostrais);

r= Numero de linhas da matriz de confusão;

x_{ii} = Observações na linha *i* e coluna *i*;

x_{i+} = Total marginal da linha *i*;

x_{+i} = Total marginal da coluna *i*.

A matriz de erro favorece a visualização dos resultados da classificação temática e expressa a relação entre os dois tipos de erros associados ao sistema de classificação: os de inclusão e os de omissão.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Balsa Nova e faz parte da Região Metropolitana de Curitiba, as coordenadas geográficas de 25°32'34" de latitude sul e 49°44'16" de longitude oeste e 25°36'21" de latitude sul e 49°35'38" de longitude oeste. Esse município apresenta uma área territorial de 397 Km², correspondente a 0,2% do Estado do Paraná (IBGE, 2010). A área escolhida para essa investigação metodológica (Figura12) abrange cerca de 1/3 da área do município, ou seja, 103,7 Km².

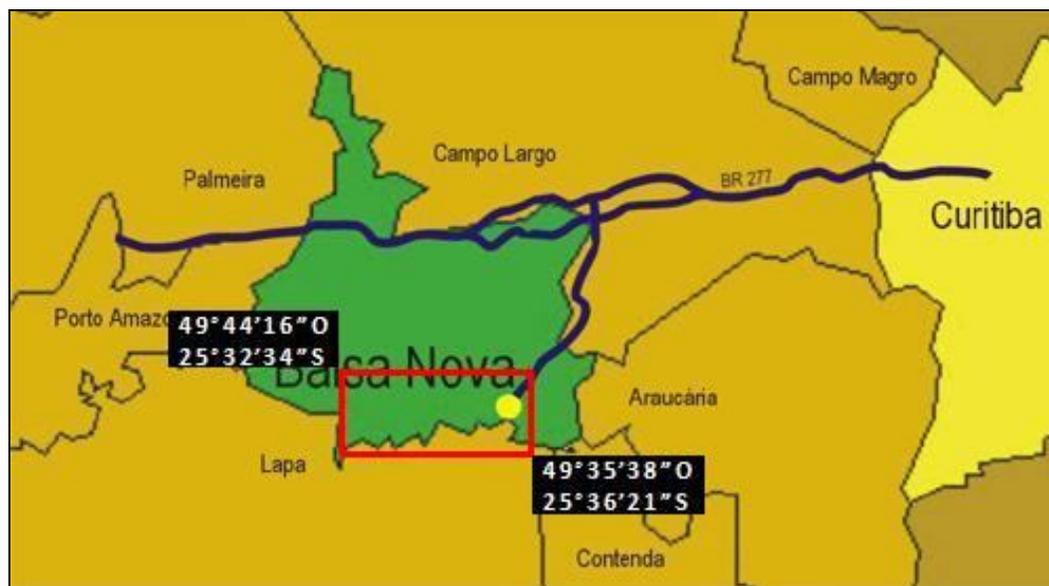


Figura 12 – Localização da área de estudo (retângulo em vermelho) na Região Metropolitana de Curitiba (http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/pr/htm0/pr28_58.htm).

Apresenta altitude que varia de 855 a 1010 metros, de acordo com as cartas do Sistema Estadual de Planejamento e Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba – COMEC, de 1976. Possui clima subtropical úmido mesotérmico, Cfb (Koeppen), com ocorrência regular de geadas e solos com pouca profundidade efetiva.

A vegetação da área de estudo é parte do bioma Mata Atlântica, representada pela Floresta Ombrófila Mista - FOM, onde ocorrem a *Araucaria angustifolia*, conhecida como Pinheiro do Paraná, a *Ilex paraguariensis* (erva-mate) e a *Ocotea porosa* (imbuia), dentre

outras espécies típicas desse domínio. Compreende as formações florestais que ocupam a porção intermediária das encostas da Serra do Mar, situadas entre 600 e 1.200 metros de altitude (GALVÃO et. al., 2008).

A área de estudo faz parte da Bacia do Iguazú, onde o rio de mesmo nome é afluente do rio Paraná, considerado o maior do Estado, com 910 Km de extensão.

O solo apresenta composição variada, originado de um conjunto heterogêneo de rochas sedimentares, incluindo arenitos, siltitos, folhelhos, argilitos, diamictitas, tilitos e ocasionalmente carvão (MINEROPAR, 2006).

A ocupação da terra nessa região dá-se principalmente por áreas de agropecuária, sendo na década de 1990, a região com maior aumento demográfico do País (IBGE, 2009), isto devido ao grande número de indústrias instaladas, principalmente na capital do Estado.

A área de estudos apresenta três regiões fisionômicas características. A primeira região, localizada no sul, é caracterizada pelo rio Iguazú e suas áreas de várzeas. A segunda região, localizada no extremo oeste da área, é ocupada pelos Campos Gerais de Ponta Grossa, formação característica de terrenos ondulados e que nos dias atuais tem sido ocupado por pastoreio de gado, agricultura e reflorestamento. A terceira região, central e no leste da área de estudos, de terreno acentuado é ocupado por florestas nativas (região central) e áreas agrícolas, cujos principais cultivos dá-se por soja, milho, azevém, trigo e feijão.

4.2. Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- a) Nove fotoimagens ou aerofotos, preto e branco, no formato analógico, fornecidas pelo ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geociências do Paraná na escala 1:25.000, obtidas no ano de 1980, cujos números são 40403, 49404, 49405, 49406, 49383, 49384, 49385, 49386 e 49387;
- b) Seis ortoimagens digitais, na escala 1:10.000, obtidas no ano de 2000, coloridas, referente às quadriculas C62NEC, C62NEE, C62NOC, C62NOD, C62NOE e C62NOF;
- c) Imagens de satélite Landsat 5 sensor TM, órbita 221, ponto 078 nas datas de 28/07/ 2001 e de 03/08/ 2009;

- d) Quatro mapas do local de estudo fornecidos pela SUDERHSA, datadas de junho de 2000, referentes às quadriculas: SG-22-X-C-VI-2-NO-D, SG-22-X-C-VI-2-NO-F, SG-22-X-C-VI-2-NO-C, SG-22-X-C-VI-2-NO-E, todos na escala 1:10.000.
- e) Receptores GPS Garmin modelo ETrex Vista para navegação em tempo real; GPS Garmin modelo 12 para registro dos pontos amostrais; GPS Garmin modelo Oregon 550 para a tomada das fotografias terrestres com registro georreferenciado;
- f) Programas computacionais: *ArcGis* versão 9.3; *Erdas* versão 9.1; e *TrackMaker* versão 13.3 PRO.

4.2.1. Fotoimagens e ortoimagem digital

As fotoimagens geralmente são apresentadas no tamanho de 23 cm x 23 cm, conforme as utilizadas nesse trabalho e foram obtidas com câmera aerofotogramétrica com distância focal igual a 152,42 mm. Estas fotoimagens estavam com coloração preto e branco, na escala 1:25.000.

As ortoimagens foram disponibilizadas em colorido normal, na escala 1:10.000, as quais, com resolução espacial de 0,84 metros.

A Figura 13 ilustra a disposição das ortoimagens no contexto da Região Metropolitana de Curitiba e também a posição das seis ortoimagens utilizadas no presente trabalho.

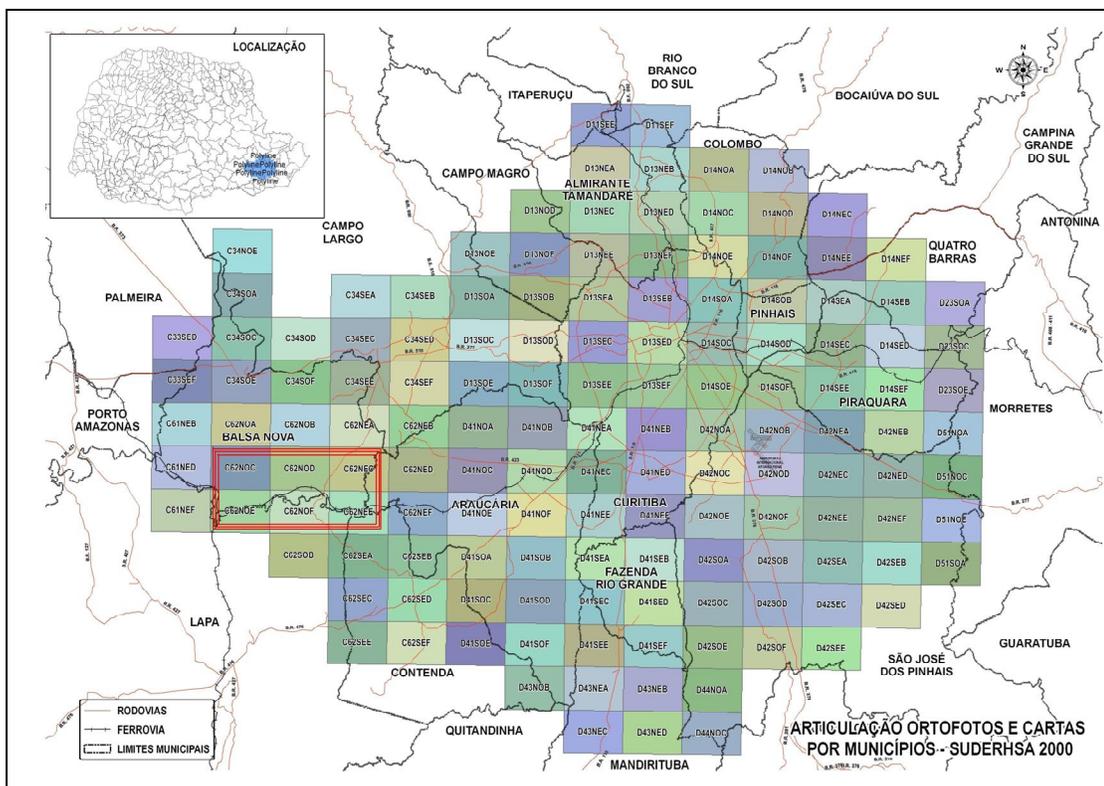


Figura 13 – Disposição das ortoimagens da Região Metropolitana de Curitiba-PR (SUDERHSA-PR).

4.2.2. Imagens de satélite utilizadas

As imagens de satélite utilizadas neste trabalho foram obtidas diretamente em formato digital no site do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, no endereço www.dgi.inpe.br. As imagens apresentam resolução espacial de 30 metros, resolução radiométrica de 8 bits (0-256 tons de cinza); resolução espectral de 0,07 μm na banda TM 3 (0,45 a 0,52 μm), 0,14 μm na banda TM 4 (0,76 a 0,90 μm), 0,20 μm na banda TM 5 (1,55 a 1,75 μm); resolução temporal de 16 dias e pertencem ao programa Landsat TM – *Thematic Mapper*. A Figura 17 ilustra uma das imagens usadas, datada de 03/08/2009.

As imagens utilizadas são da órbita 221, ponto 078, dos meses de julho e agosto de 2001 e 2009, respectivamente, as quais foram corrigidas e posteriormente ajustadas à base cartográfica das ortoimagens do ano de 2000, obtendo-se as mudanças na cobertura vegetal e após o cruzamento para atualização deste mapa, obteve-se o mapa de dinâmica. Uma dessas imagens pode ser observada na Figura 14.

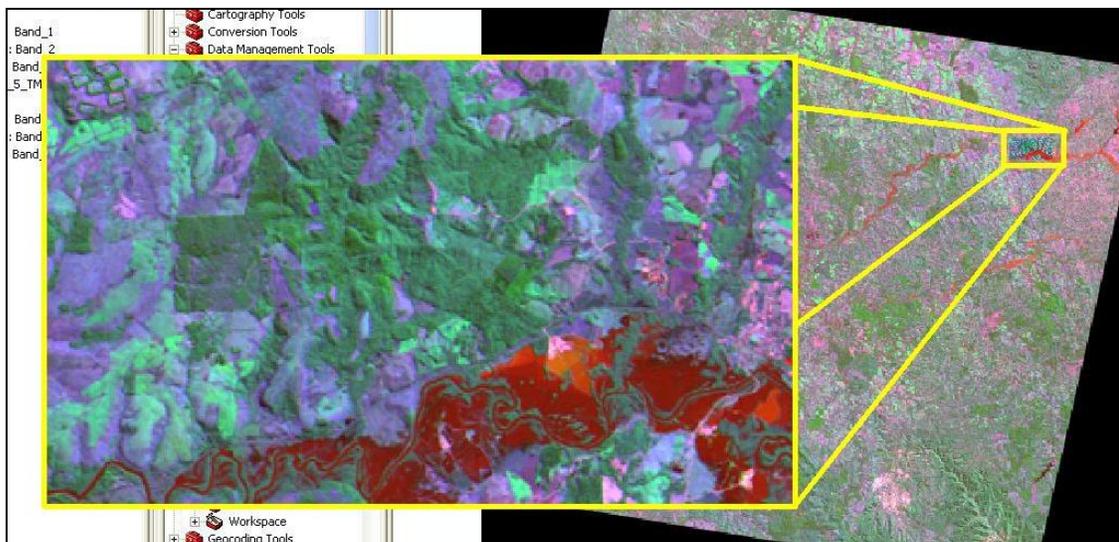


Figura 14 – Imagem Landsat 5 TM de 03 de agosto de 2009, com resolução espacial de 30 metros, tratada em ambiente *ArcGis*, demonstrando a área de estudo.

4.2.3. Programas computacionais

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizaram-se quatro programas: *ArcGis* versão 9.3, *Erdas* versão 9.1, *Trackmaker* versão 13.3 PRO e *Adobe Photoshop* versão 3.7.

O *ArcGis* é um *software* de GIS – Sistema de Informações Geográficas produzido pelo *Environmental Systems Research Institute, Inc.* (ESRI), usado para armazenar, analisar e manipular dados geográficos que representam objetos e fenômenos, nos quais a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-las.

O Sistema de Análise de Dados de Recursos da Terra (*Earth Resources Data Analysis System* – ERDAS) é um sistema interativo para tratar automaticamente informações multiespectrais de imagens digitais, permitindo entre outros, realçar determinados aspectos da imagem, facilitando assim a identificação de áreas com características espectrais semelhantes, operando ainda transformações matemáticas das bandas originais, gerando novas bandas transformadas e alterando inclusive a escala de trabalho.

O *TrackMaker* PRO, também chamado de TMPRO, foi utilizado no trabalho de campo, isto é, na coleta de pontos amostrais em tempo real onde em tela foi colocado o mapa de uso e cobertura da terra de 2000, para que na sequência fosse executada a matriz de confusão. Este programa permite a comunicação bidirecional de dados entre o GPS e o computador, possibilitando a edição dos dados e o armazenamento em disco.

4.3. Metodologia

A Figura 15 apresenta o fluxograma de trabalho adotado na pesquisa.

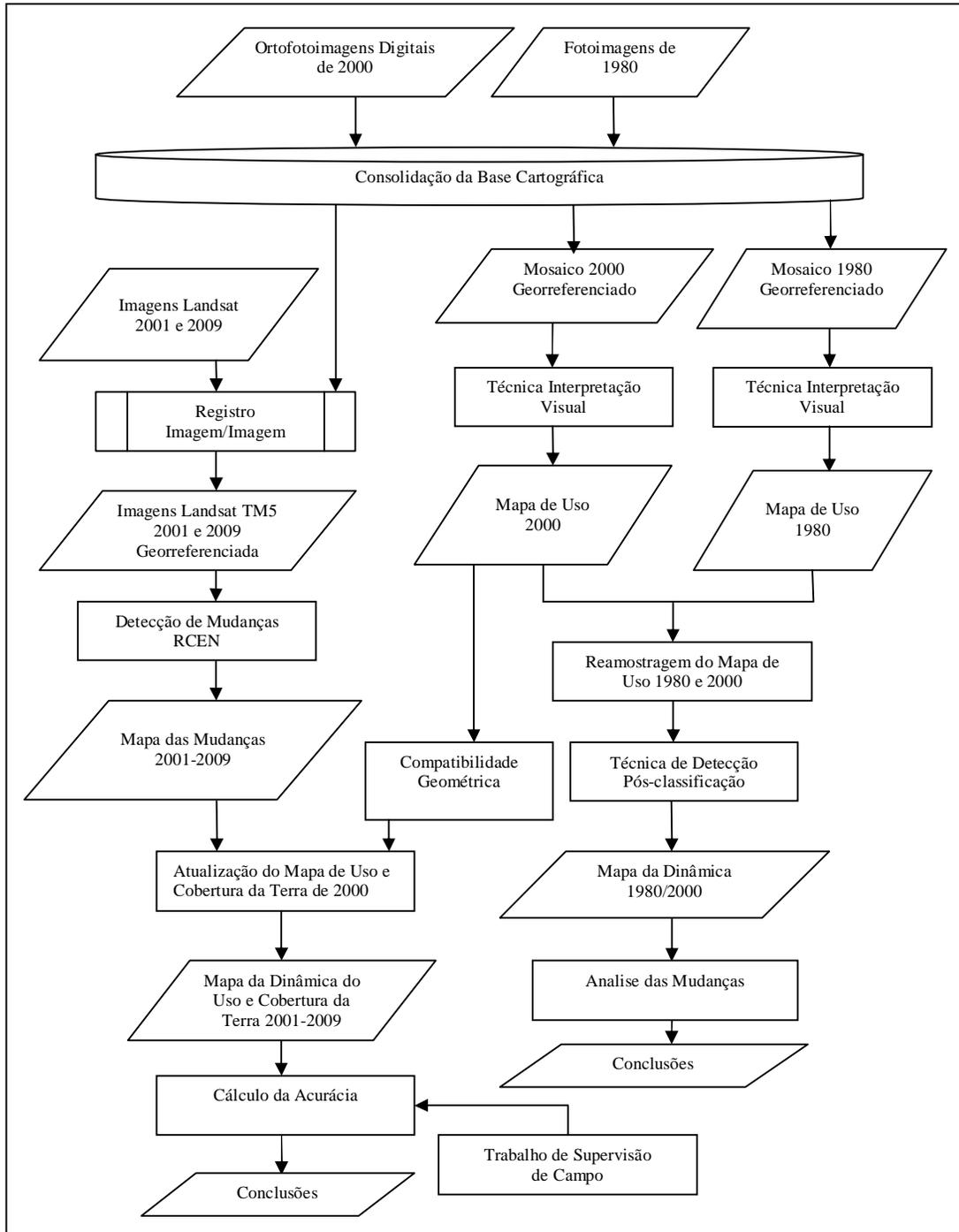


Figura 15 – Fluxograma da metodologia geral da pesquisa.

4.3.1. Consolidação da base de dados cartográfica

A base cartográfica utilizada foi resultante da mosaicagem das seis ortofotoimagens digitais fornecidas pela SUDERHSA, datadas do ano de 2000, em sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) e referidas ao Datum SAD-69. A mosaicagem foi efetuada em ambiente *Erdas* 9.1, com as quadrículas C62NEC, C62NEE, C62NOC, C62NOD, C62NOE e C62NOF, e de resolução espacial de 0,84 metro. Esta base cartográfica digital foi utilizada para o georreferenciamento do Mapa de Uso de 1980 e das duas imagens de satélite utilizadas.

4.3.2. Técnica de interpretação visual

O trabalho iniciou com o mosaico das fotoimagens do ano de 1980, onde foi utilizado a ferramenta de criação de classes, do *ArcGis* 9.3 interpretando visualmente na tela do monitor do computador, levando em consideração aspectos gerais como tipo de cobertura da terra, padrões de drenagem, diferentes tonalidades e texturas da vegetação, relevo, entre outros.

Na identificação das classes o fotointérprete visualiza as características de uso e cobertura, as quais devem se manter durante todo o processo. As áreas ou regiões devem estar localizadas onde as classes apareçam, evitando áreas onde a interpretação seja duvidosa. Nessa etapa foram identificadas 7 classes nas aerofotos de 1980: agropecuária, floresta natural, floresta plantada, área urbana e urbanizada, hidrografia, estradas e campo natural e outros. Tais características levaram em consideração a chave de interpretação de fotografias e imagens (CORAZZA e PEREIRA FILHO, 2007).

As áreas de agropecuária são áreas onde ocorrem a implantação de culturas agrícolas associadas, nos meses mais frio do ano, com a engorda do gado, haja vista a brotação de forma natural da cultura do azevém.

Áreas de floresta natural referem-se às áreas onde ocorrem as áreas de vegetação natural.

Floresta plantada são áreas onde foram inseridas, pela ação antrópica as áreas de reflorestamento, sejam *Pinus* ou *Eucalyptus*, que são os gêneros que mais se cultivam nesta região Sul do Brasil.

Área urbana e urbaniza refere-se ao total de área existente do contorno da cidade, isto é, sem que sejam delimitadas as ruas e edificações, pois não é o objetivo desse estudo o cadastro técnico, sendo as áreas urbanizadas definidas pelo total de área residencial apresentadas na zona rural.

Hidrografia refere-se exclusivamente pelo traçado do leito do rio que divide os municípios de Balsa Nova e Lapa.

Estradas define por si só o traçado existente nesta área, não se referindo somente as estradas pavimentadas ou não, mas sim no geral de estradas ali encontradas.

As áreas de campo natural e outros são definidas por áreas onde encontram-se formações de vegetação rasteira.

As áreas dos polígonos foram calculadas, utilizando a ferramenta *Attributes table* onde já estão inseridas fórmulas para seus cálculos. O total de cada classe foi armazenado na ferramenta de estatísticas do próprio programa, como observa-se na Figura 16. O mesmo procedimento foi adotado com o mapa de uso de 2000, proveniente das ortoimagens digitais.

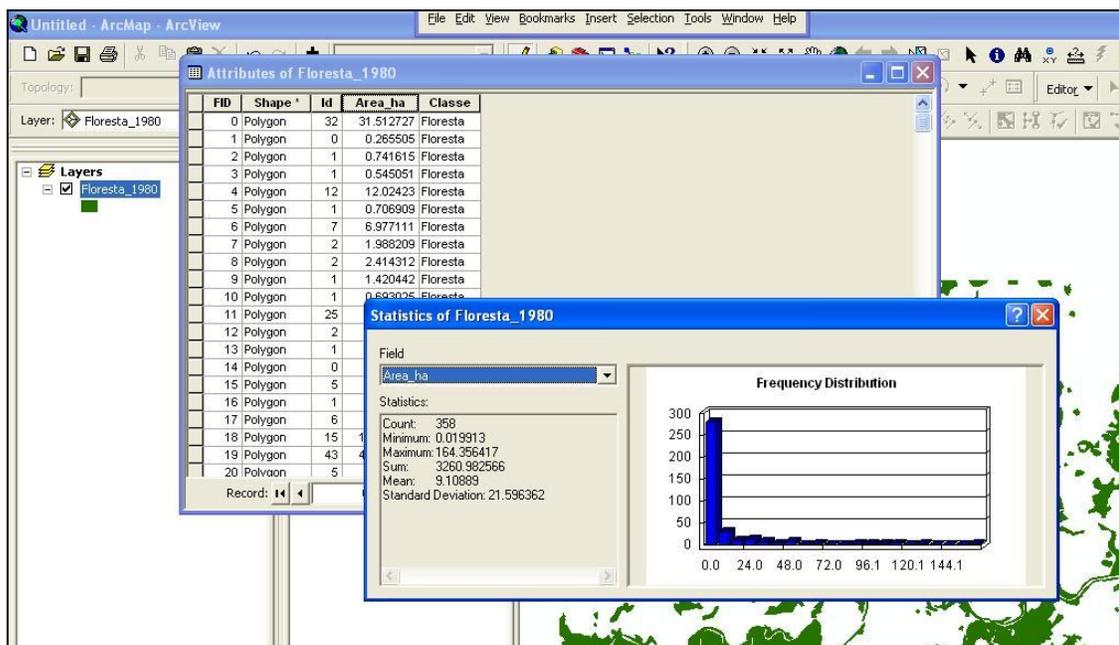


Figura 16 – Ferramenta de estatísticas do *ArcGis* 9.3.

Os produtos finais gerados nesta etapa do trabalho, foram os mapas de uso 1980 e 2000 e uma tabela contendo dados quantitativos das áreas ocupadas por cada classe mapeada nos anos considerados. Os mapas temáticos viabilizaram a distribuição espacial das classes

enquanto que a Tabela numérica informava a superfície (em hectares) de cada classe no mapa de uso.

4.4. Técnica de detecção pós-classificação

Na sequência do mapeamento aplicou-se uma técnica de detecção pós-classificação para gerar o Mapa da Dinâmica 1980-2000. Inicialmente, o Mapa de Uso 1980 e Mapa de Uso 2000, ambos em formato vetorial, foram transformados para o formato com resolução espacial de 0,84 m. Posteriormente para a obtenção desse mapa da dinâmica foram utilizadas simples operações booleanas (*AND*, *OR*, *NOT*) para cruzamento entre classes com correspondência espacial nos mapas de uso. Esta técnica permite quantificar a dinâmicas inter-classe, do tipo “desde” e “para”, gerando as novas classes no Mapa da Dinâmica 1980 x 2000 onde as legendas estão formadas pela classe inicial e a classe final. Desta forma, a legenda do Mapa da Dinâmica devem ser consideradas como da “Classe de uso 1980 para Classe de uso 2000” (adaptado de KHORRAN et. al., 1999).

As fotoimagens do ano de 1980 apresentavam-se na escala 1:25.000, onde foram escanizadas com resolução de 300 *dpi*, resultando em uma resolução espacial de 2,00 metros; as ortoimagens digitais apresentavam-se com resolução espacial de 0,84 metro. Desta forma, o mosaico aerofotográfico de 1980 foi reamostrado para a mesma resolução espacial das ortoimagens digitais, para então seguir o processamento desta técnica.

4.5. Registro das imagens de satélite

Em virtude da inexistência de fotoimagens, para estudar as mudanças no período de 2000 a 2009, optou-se pela utilização de imagens de satélite Landsat TM5 para a determinação da alteração do uso e cobertura da terra no período de 2001 a 2009.

Um acesso ao catálogo de imagens do INPE indicou a disponibilidade de imagens de satélite TM5, em data muito próxima do mês das fotografias aéreas, para os anos de 1999, 2000 e 2001. Entretanto, a imagem referente ao ano de 2000 apresentava muita cobertura de nuvens e foi, portanto, descartada. Decidiu-se utilizar a imagem obtida em 28/07/2001.

O início do processamento digital das duas imagens, 2001 e 2009, deu-se com o registro das imagens, nas bandas TM3, TM4 e TM5, que foram georreferenciadas de acordo com as coordenadas extraídas das ortoimagens digitais e recortadas com o mesmo tamanho da área das aerofotos de 1980.

A etapa seguinte foi a utilização da técnica RCEN com as bandas 3 e 4 das duas datas, pois correspondem às bandas do vermelho (que menos reflete a vegetação) e do infravermelho próximo (que mais reflete a vegetação), respectivamente. Finalmente, a imagem de detecção, mostrando as mudanças ocorridas, no período 2001-2009, em cinco classes foi rotulada. O significado real de cada uma dessas cinco classes temáticas foi definido em função do conhecimento de campo.

4.6. Detecção de mudanças 2001-2009

Foi utilizada a técnica de Rotação Radiométrica Controlada por Eixo de Não Mudança – RCEN (MALDONADO, 2007). Esta técnica não necessita que as imagens sofram calibração nem correção atmosférica. Necessita somente que estejam corregradas, apresentando erro menor a 1/3 do pixel apresentado. Além disso, as imagens precisam ser da mesma época do ano devido às mudanças sazonais de vegetação, para que estas mudanças sazonais não sejam interpretadas erroneamente como mudanças temáticas da área a ser estudada devido à fenologia vegetal, devido à época de floração e frutificação dos vegetais, bem como o período de plantio das culturas agrícolas.

Esta etapa dos trabalhos foi efetuada com as imagens de 2001 e 2009, sendo realizada a avaliação temporal utilizando-se a técnica RCEN programado no *Modeler* do programa *Erdas*, e posteriormente uma sub-rotina simples para homogeneização das classes apresentadas. O programa analisa as duas imagens, segundo o comando do que se deseja obter, gerando os resultados.

A primeira etapa para a detecção de mudanças com imagens é o corregramento das imagens. Isto permite a correspondência espacial entre os elementos que aparecem nas duas datas. As imagens empregadas corresponderam a sub-cenas tomadas dos dados Landsat TM5, sem calibrações e correções atmosféricas. A técnica RCEN implica numa primeira visão do terreno, na qual se realiza uma amostragem prévia em campo para registrar diversos

indicadores dos sítios. Para realização desta etapa dos trabalhos segue o fluxograma apresentado pela Figura 17.

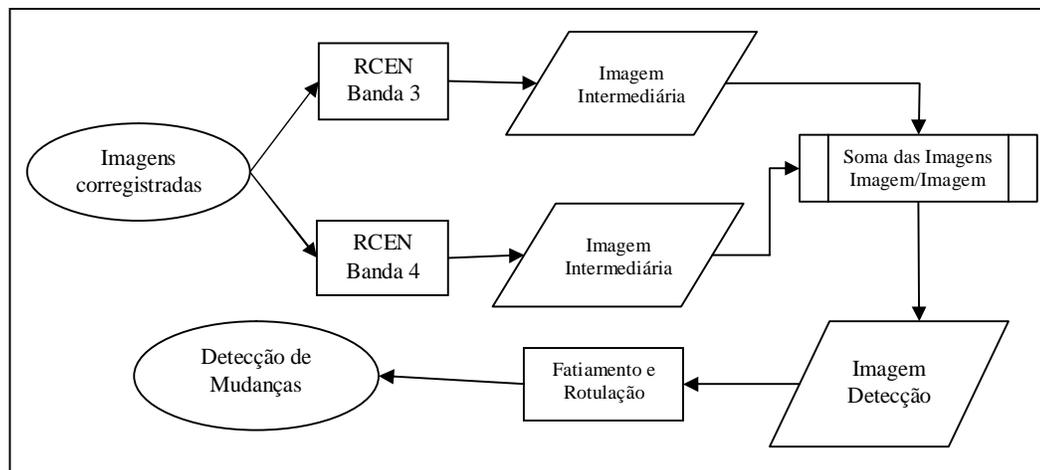


Figura 17 – Etapas da RCEN multispectral.

A imagem detecção de mudanças é uma imagem em tons de cinza (CN) em formato contínuo, no qual, as transformações na paisagem são notórias.

O algoritmo da técnica RCEN multispectral aplicado neste caso usou as bandas espectrais do vermelho (0,63-0,69 μm) e do IR próximo (0,76-0,90 μm). Para aplicação da técnica, três etapas devem ser seguidas: pré-processamento, aplicação da equação RCEN e operações lineares complementares.

Para obter um mapa de mudanças, a imagem detecção formada por números contínuos deve ser seccionada em classes de intensidade de mudanças, empregando limites entre classes aproximadamente centrados na moda de distribuição de imagens. Para seccionar deve-se basear principalmente na forma do histograma de distribuição de frequências. Quando o tempo de detecção é curto para a recuperação de algumas áreas, o histograma da imagem detecção é ligeiramente assimétrico, e quando o espaço de tempo é suficiente, o histograma é simétrico.

4.7. Atualização do mapa de uso 2000

A técnica de levantamento de campo para coleta dos pontos amostrais após as classificações das imagens de satélite está descrita na Figura 18.

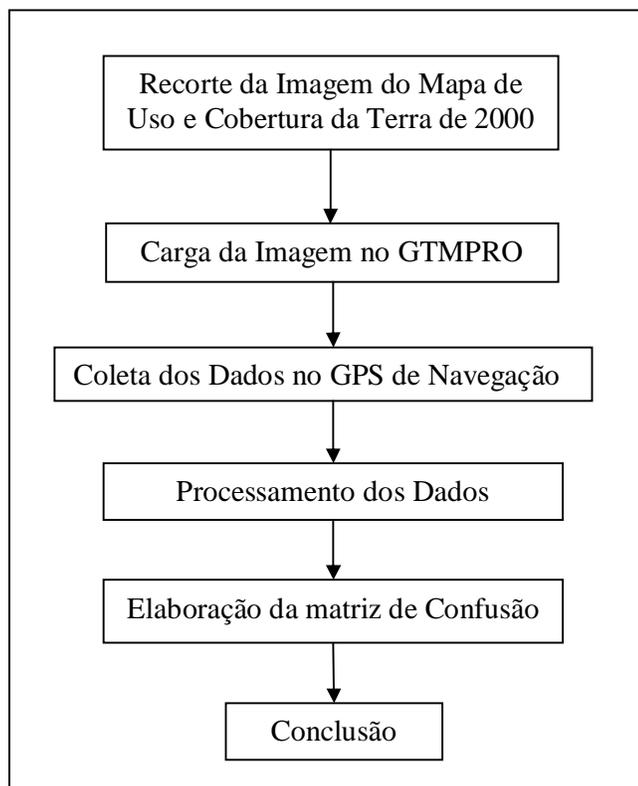


Figura 18 – Fluxograma para realização do trabalho de campo.

O seguinte processo foi efetuado para a coleta de pontos:

- a) Incorporação no receptor GPS dos pontos de referência para localização da área de estudo;
- b) Gravação de arquivo no GTMPRO;
- c) Modificação da extensão do arquivo *shapefile* para o GTMPRO;
- d) Exportação do arquivo para o *ArcGis* 9.3.

A tomada dos pontos foi realizada com auxílio de outro receptor GPS marca Garmin Oregon 550. Foram fotografadas as classes, sendo que neste mesmo aparelho eram obtidas de forma automática as coordenadas dos locais amostrados.

O trabalho de supervisão de campo foi realizado utilizando-se receptores GPS absoluto, ou seja, aparelhos de navegação, com precisão variável entre três e quinze metros.

Para Venâncio (2009), o uso do GPS no setor florestal depende da precisão da base cartográfica da área em estudo, pois a precisão dos dados coletados pelo receptor é

dependente da densidade da cobertura florestal presente na área, da geometria dos satélites disponíveis e do número destes na determinação dos pontos a serem coletados.

Para o trabalho de campo foram utilizados apenas os receptores GPS de navegação com antena, somente do código C/A. O mapa de fundo utilizado como referência foi o do próprio receptor, o qual se encontra no mesmo programa do GTM, mas o ponto de referência da área de estudo teve que ser inserido no aparelho.

O sistema de navegação foi utilizado para orientar a amostragem, definindo em tempo real a passagem sobre os sítios de coleta de pontos de mudanças. Porém, pontos de não mudança também foram coletados para o cálculo da acurácia do mapeamento. Este sistema de navegação continha na tela o mapa de uso do ano de 2000 (obtido com o mosaico de ortoimagens coloridas com 84 cm de resolução espacial).

Foram utilizados um receptor para navegação e outro para tomar fotografias georreferenciadas, cujas coordenadas figuram no cabeçalho do arquivo “jpg” gerado pelo aparelho.

Em campo, os pontos amostrais foram colhidos de tal forma que foram obtidos três pontos com coordenadas a cada coleta, ou seja, um ponto na linha de passagem e mais dois, um à direita e outro à esquerda do ponto de referência, totalizando 210 pontos amostrais, para então servir de base à matriz de confusão. Outros pontos podem ser obtidos nas fotografias devidamente posicionadas e com o rumo da tomada. Nessas fotografias podem ser observadas outras classes identificadas à distancia.

O equipamento de navegação em tempo real foi utilizado para otimizar a tomada de dados. Com o mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2000 na tela do computador, quando o cursor estava numa área cujo tema não correspondia ao observado no terreno, eram tomadas amostras para detalhar o tipo de mudança. Dessa forma o trabalho foi ágil para abranger a área total mais rapidamente e obter amostras suficientes e representativas.

A matriz de confusão serviu para calcular a acurácia da técnica empregada, avaliando a representatividade das classes apresentadas, e as mudanças ocorridas, tendo como resultado final o Índice Kappa e a Exatidão Global.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Consolidação da base de dados cartográfica

No Brasil, o sistema de projeção mais utilizado para a confecção de mapas é o UTM – Universal Transversa de Mercator, juntamente com Datum SAD–69. Este trabalho, também utilizou o referido sistema já que a base cartográfica estava nele projetada, considerando as ortoimagens digitais do ano de 2000, mesmo porque a norma PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica, determina, por exemplo que “todos os levantamentos de campo deverão ser realizados, tendo como base o Sistema Geodésico Brasileiro, composto pelos Data:

- Datum Planialtimétrico: SAD 69 ou SIRGAS 2000;
- Datum Altimétrico: Marégrafo de Imbituba – SC (altitudes ortométricas).

E, a partir de 2015, serão aceitos trabalhos somente com Datum Planialtimétrico SIRGAS 2000, conforme determina a Resolução do Presidente de 25/02/2005 (RPR 1/2005)”.

5.1.1. Resultados da aplicação das técnicas de mosaicagem de ortoimagens digitais

As ortoimagens digitais coloridas e foram obtidas no site da SUDERHSA-PR (<http://www.suderhsa.pr.gov.br>). A Figura 19 mostra o resultado da mosaicagem das ortoimagens.

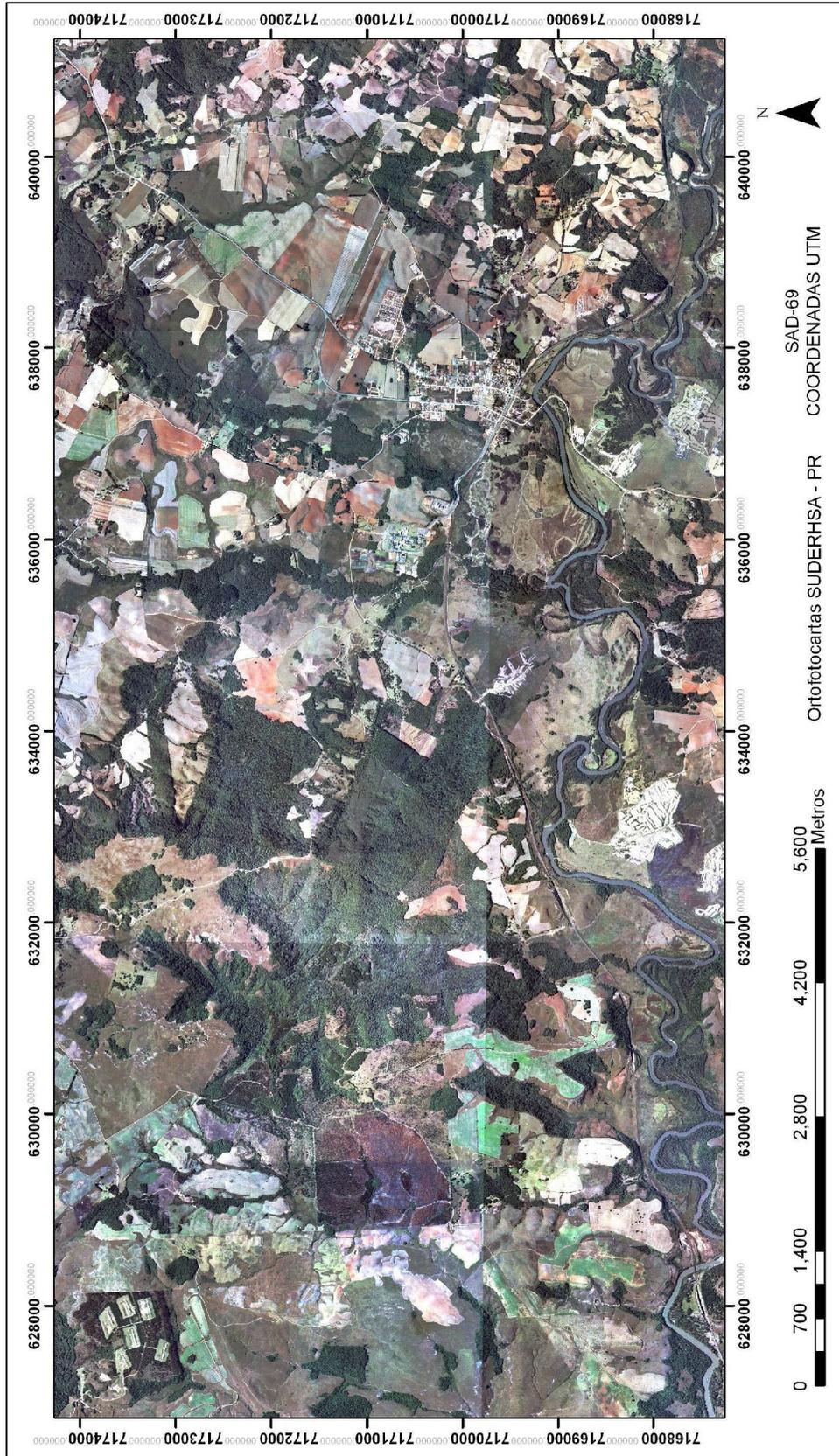


Figura 19 – Mosaico de ortoimagens do ano de 2000.

O mosaico apresenta a união entre fotografias com boa qualidade visual. Esta técnica digital de mosaicagem foi executada no programa *Erdas 9.1*, sendo em seguida transferida ao *ArcGis 9.3*, para dar prosseguimento à consolidação da base cartográfica e geração do mapa de uso e cobertura da terra de 2000, através da fotointerpretação monoscópica.

5.1.2. Resultados da aplicação das técnicas de mosaicagem de fotoimagens monoscópicas

Em princípio as fotografias aéreas de 1980 foram estudadas estereoscopicamente, analisando o relevo existente na região, bem como o tipo de vegetação ali presente. Em seguida foram definidas classes para interpretação visual gerando o mapa de uso. O mosaico do ano de 1980, com base em fotoimagem é apresentado na Figura 20.

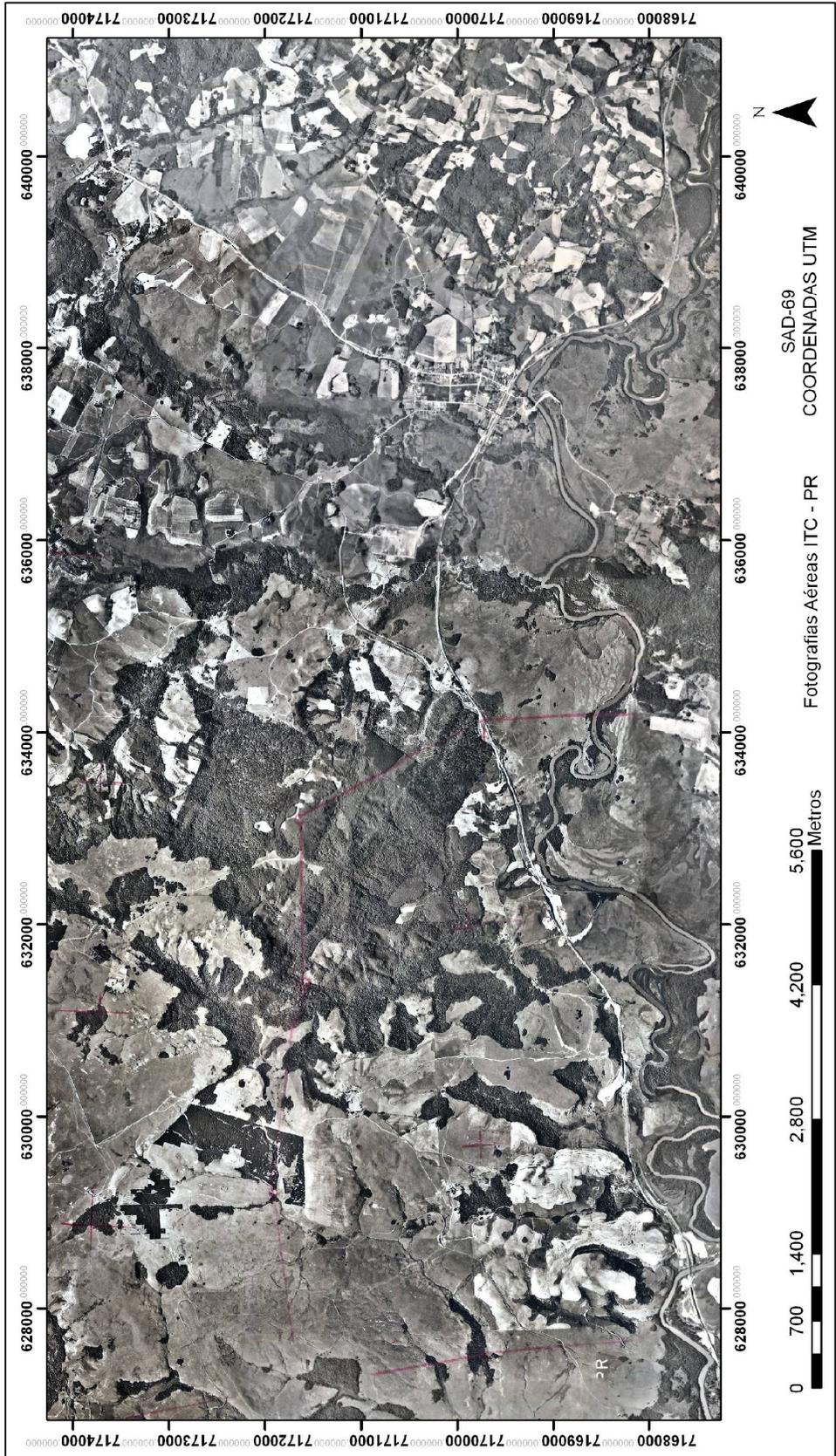


Figura 20 – Mosaico de 1980.

As fotografias aéreas preto e branco de 1980 foram obtidas na escala 1:25.000 e por meio de fotointerpretação monoscópica foi gerado um mapa de uso da terra. Se faz necessário menção de que estas fotografias aéreas não estavam retificadas individualmente como as ortoimagens digitais, e que somente após a mosaicagem houve seu georreferenciamento.

5.2. Geração de mapas de uso da terra

5.2.1. Resultados da interpretação visual

Os polígonos das classes foram gerados por meio da digitalização em tela sobre o mosaico. As fotografias aéreas foram obtidas em 07/06/1980. A fotointerpretação monoscópica possibilitou a separação de sete classes: 1) Floresta natural; 2) Agropecuária; 3) Área urbana ou urbanizada; 4) Estradas; 5) Hidrografia; 6) Floresta plantada e 7) Campo natural e outros. Na classe 2, optou-se pelo nome agropecuária, motivo pelo qual nesta região, após a colheita das culturas de verão, entre os meses de março e abril, espera-se a brotação do azevém para então seja colocado o gado, evitando que este perca peso no inverno. Quanto a última classe, foi consolidada, agrupando-se campo natural e macega, por motivo que se apresentavam com mesma textura e tonalidade nas fotoimagens monoscópicas.

De acordo com o mapa temático apresentado (Figura 21) pode-se observar as sete diferentes classes, onde foram efetuadas análises quanto à perda vegetacional ao longo dos anos.

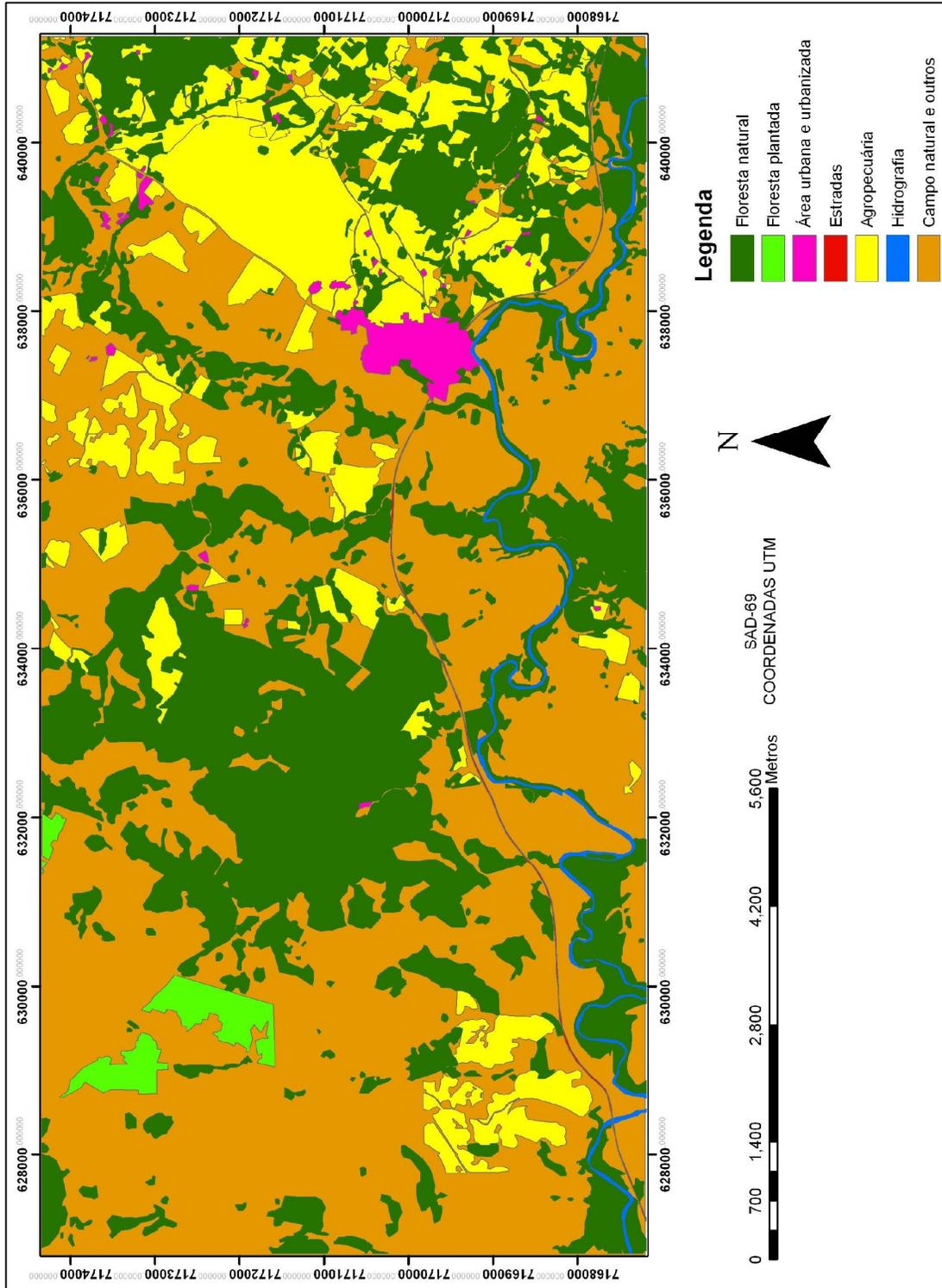


Figura 21 – Mapa de uso e cobertura da terra derivado do mosaico para o ano de 1980.

Observa-se uma grande área de campos naturais no lado oeste; a noroeste uma pequena porção de floresta plantada; a sudoeste áreas de agropecuária, e logo ao centro uma

grande área de floresta natural; no lado leste do mapa grande intensidade de áreas de agropecuária, bem como a área urbana do município, e no lado sul observa-se o rio Iguaçu, que faz parte da hidrografia da região.

As áreas de agropecuária totalizaram 158 polígonos cujo tamanho variou de 0,05 ha até 314 ha. Um exemplo dessa classe no mosaico é mostrado na Figura 22.



Figura 22 – Exemplo de área de agropecuária existente no mosaico de 1980.

As áreas urbanas e urbanizadas totalizaram 48 polígonos, com área variando de 0,08 ha a 91,00 ha. O polígono apresentado na Figura 23 refere-se ao perímetro urbano. Neste trabalho não se teve interesse em saber as metragens das quadras urbanas ou residências existentes, mas sim o total de área urbana e urbanizada, ou seja, o foco não está na apresentação do cadastro técnico.

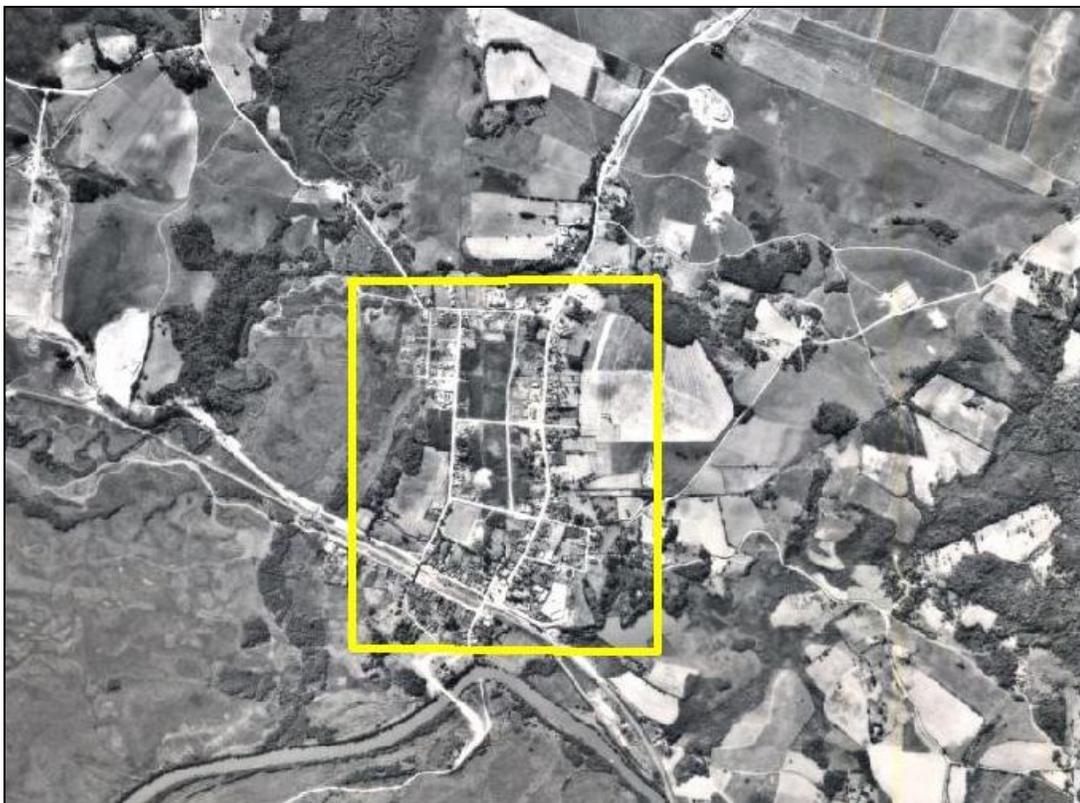


Figura 23 – Exemplo de área urbana existente no mosaico de 1980.

As áreas de floresta natural estão representadas por 358 polígonos que variaram de 0,02 ha a 169 ha. Esta área, na Figura 24, está representada pela cor verde com tonalidade mais escura, ilustra uma área de floresta natural na fotografia aérea de 1980.



Figura 24 – Exemplo de área de floresta natural existente no mosaico de 1980.

Por fim as áreas de floresta plantada, na cor verde com tonalidade mais clara, estão representadas por cinco polígonos e com áreas de 0,03 a 71,00 ha. A Figura 25 ilustra uma dessas áreas no mosaico de 1980.



Figura 25 – Exemplo de área de floresta plantada existente no mosaico de 1980.

Esta distribuição espacial das classes deve-se, em grande parte, à topografia variada da área de estudo. Em geral, na parte oeste a área é plana e corresponde aos Campos Gerais, o centro e a parte leste da área estudada é ondulada, com altitude variando de 850 metros a 1010 metros. Nas margens do rio Iguaçu verificam-se as áreas planas de inundação (várzeas) e com altitude de 850 metros a 950 metros.

O mapa de uso e cobertura da terra do ano 2000, Figura 26, apresenta oito diferentes classes, sendo sete similares às interpretadas para 1980, e a oitava classe apresenta-se pela cor branca, sendo denominada de “Extração de areia”.

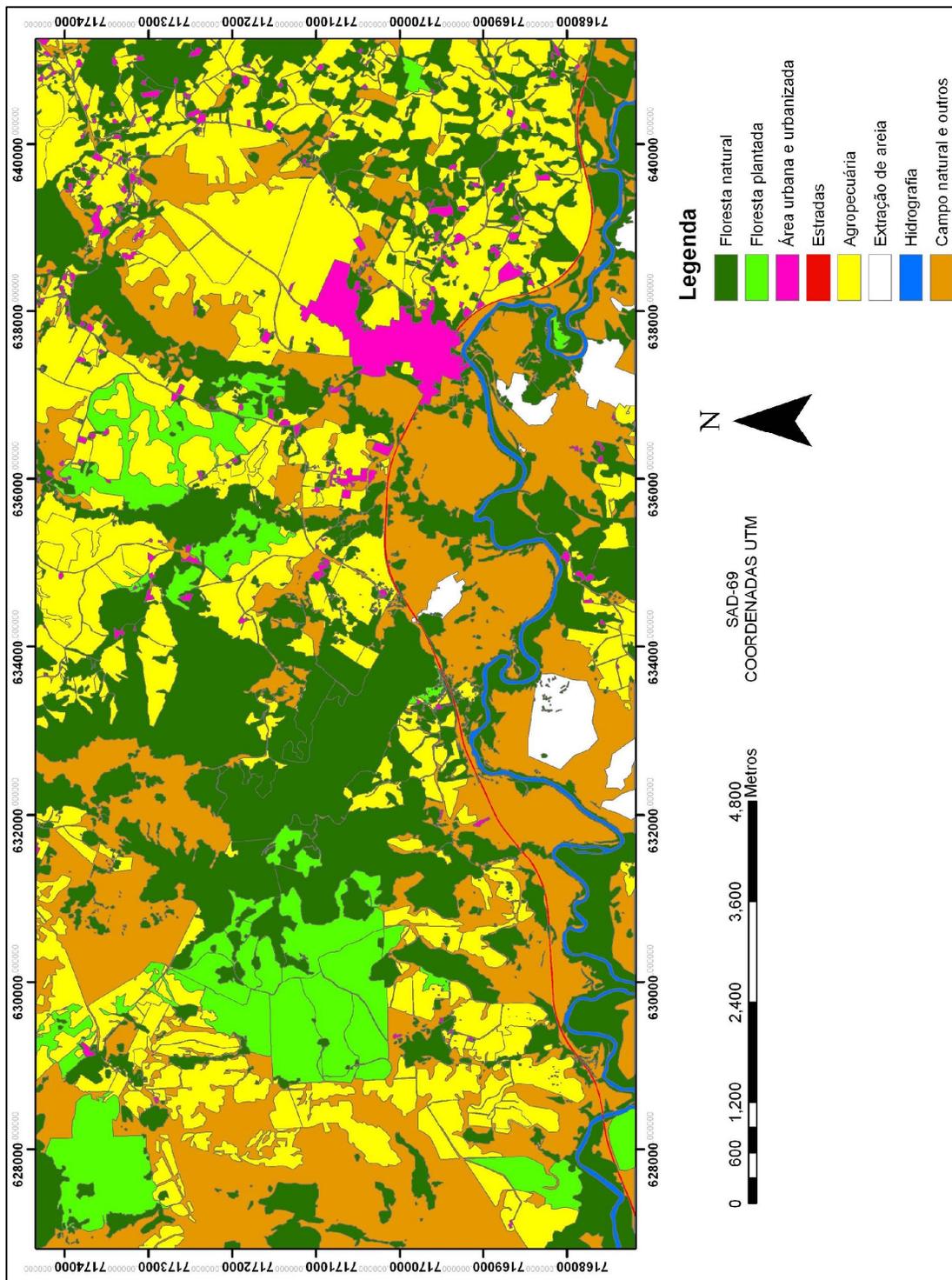


Figura 26 – Mapa de uso e cobertura da terra do ano 2000.

O mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2000 apresenta duas grandes áreas contínuas do mesmo uso, no centro-oeste, correspondendo à classe de floresta natural. Também próximo à mancha urbana de Balsa Nova observa-se uma grande área amarelada

homogênea (agropecuária) e esta classe ocupando, desta vez, espaços em quase toda a área estudada. As áreas de mineração ou extração de areia foram interpretadas, aproveitando as características das fotografias (a combinação de cores próximo ao natural e alta resolução espacial), e apresentou-se apenas no lado sul da área, com coloração branca e localizadas às margens do rio Iguazú.

No ano de 2000, a classe agropecuária totalizou 431 polígonos com área variando de 0,03 ha a 90,20 ha. Assim, observa-se na Figura 27b que surgiu apenas um polígono com mais de 90 ha, evidenciando uma maior fragmentação e diminuição do tamanho dos polígonos.

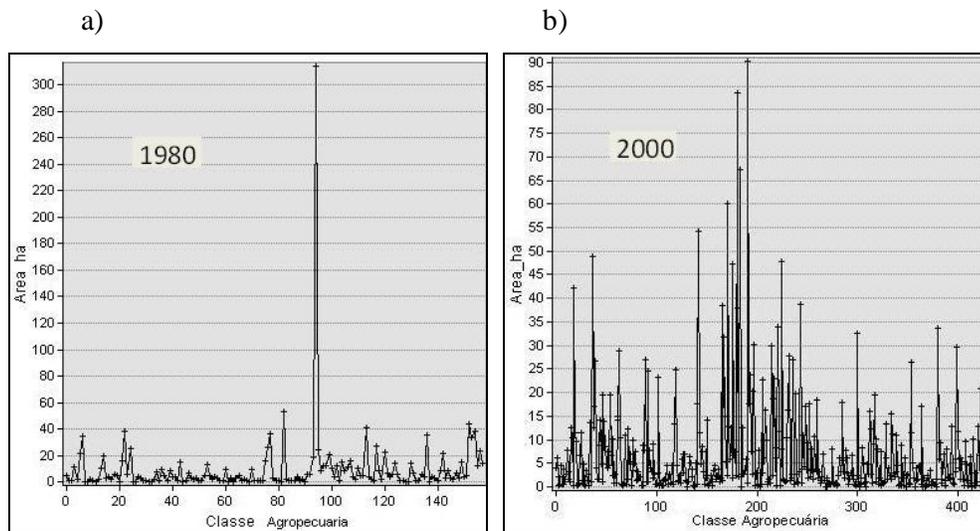


Figura 27 – Gráfico *a* apresentando distribuição das frequências das áreas de agropecuária em 1980 e *b* no ano 2000.

As áreas urbanas totalizaram 306 polígonos, variando de 0,002 ha a 120,00 ha, como é ilustrado pelo na Figura 28.

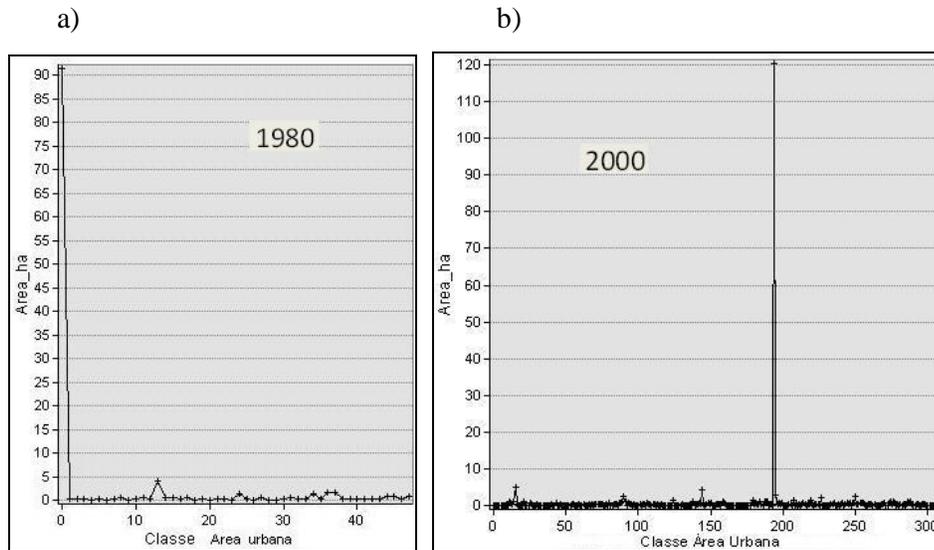


Figura 28 – Gráfico *a* apresentando distribuição das frequências das áreas urbanas e urbanizada em 1980 e *b* no ano 2000.

No mosaico para o ano 2000, foram observados 906 polígonos para as áreas de floresta natural, que tiveram uma média de 3,58 ha por polígono. No ano de 1980, esta classe possuía 358 polígonos, com áreas que variaram de 0,02 ha a 164,00 ha, enquanto que no ano de 2000 os tamanhos variaram de 0,0009 ha a 298,00 ha, como ilustra a Figura 29.

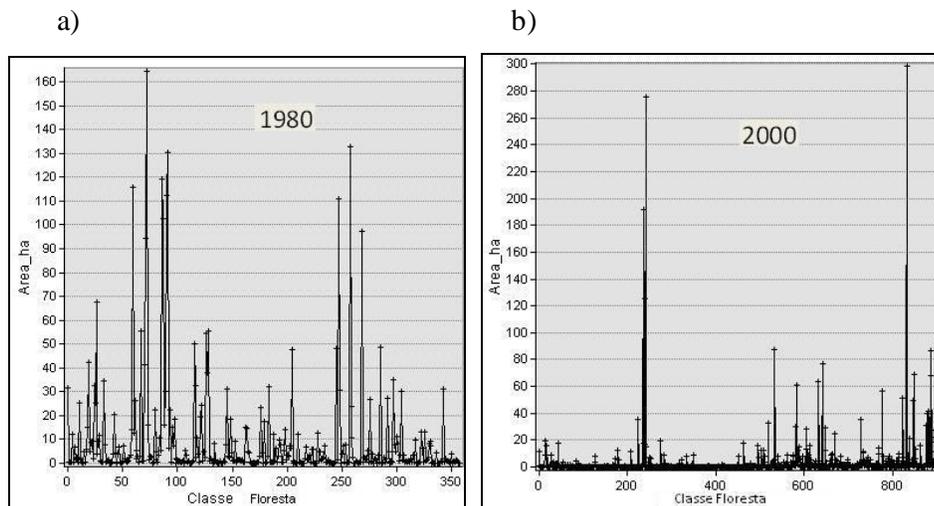


Figura 29 – Gráfico *a* apresentando distribuição das frequências das áreas de floresta natural em 1980 e *b* no ano 2000.

As áreas de floresta plantada totalizaram 40 polígonos variando de 0,38 ha a 132,00 ha. Em comparação a 1980, havia somente cinco polígonos, variando de 0,03 ha a 45 ha (Figura 30).

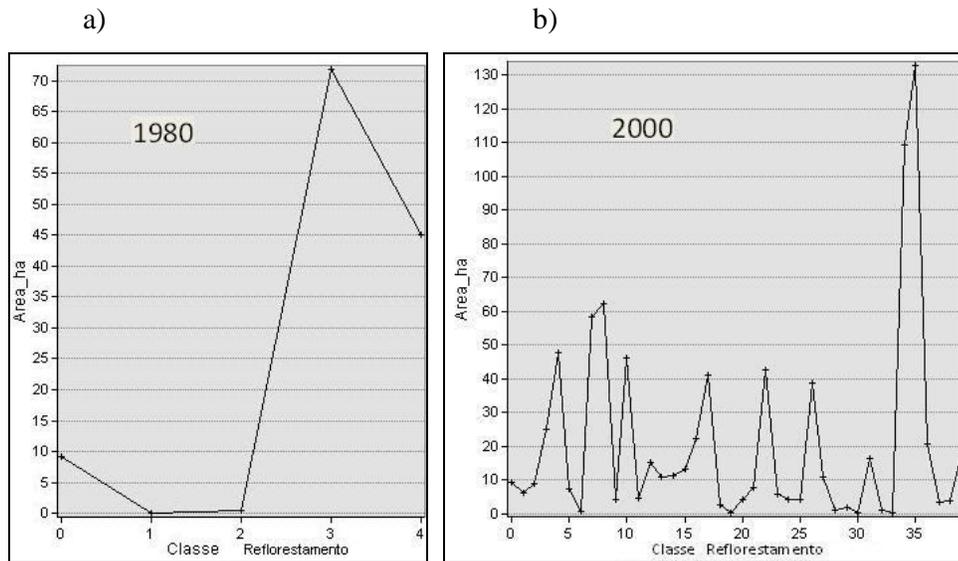


Figura 30 - Gráfico *a)* apresentando distribuição das frequências das áreas de floresta plantada em 1980 e *b)* no ano 2000.

Na interpretação das ortoimagens digitais do ano 2000, observou-se uma área com nova textura, correspondente a um novo tipo de uso, classificado como extração de areia (Figura 31).

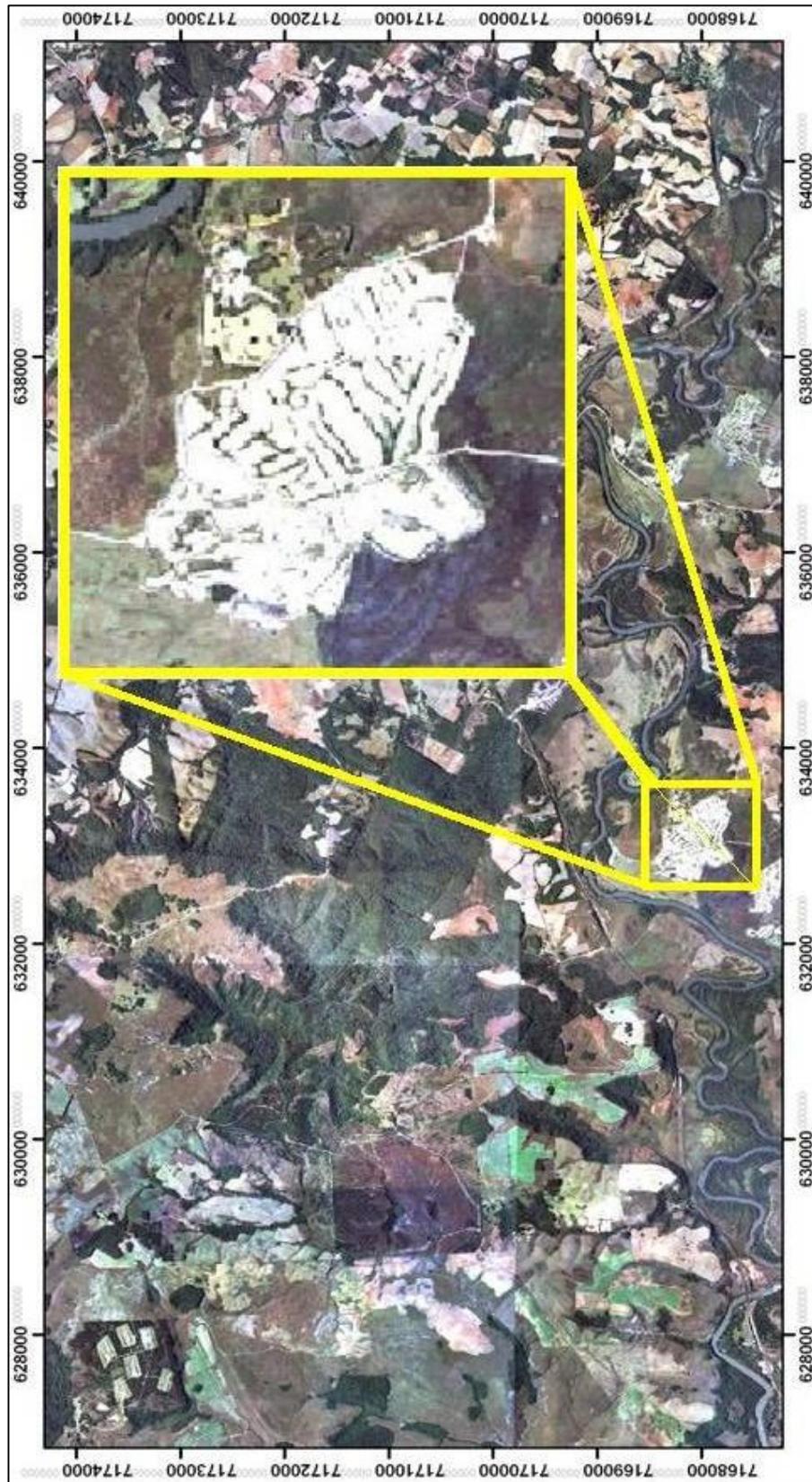


Figura 31 – Extração de areia na área de estudo detectada no mosaico do ano 2000.

É notória a ocorrência de mudanças na área de estudo após 20 anos. Observa-se o aumento de áreas agriculturáveis, que praticamente dobraram a extensão, demonstrado pela Figura 32.

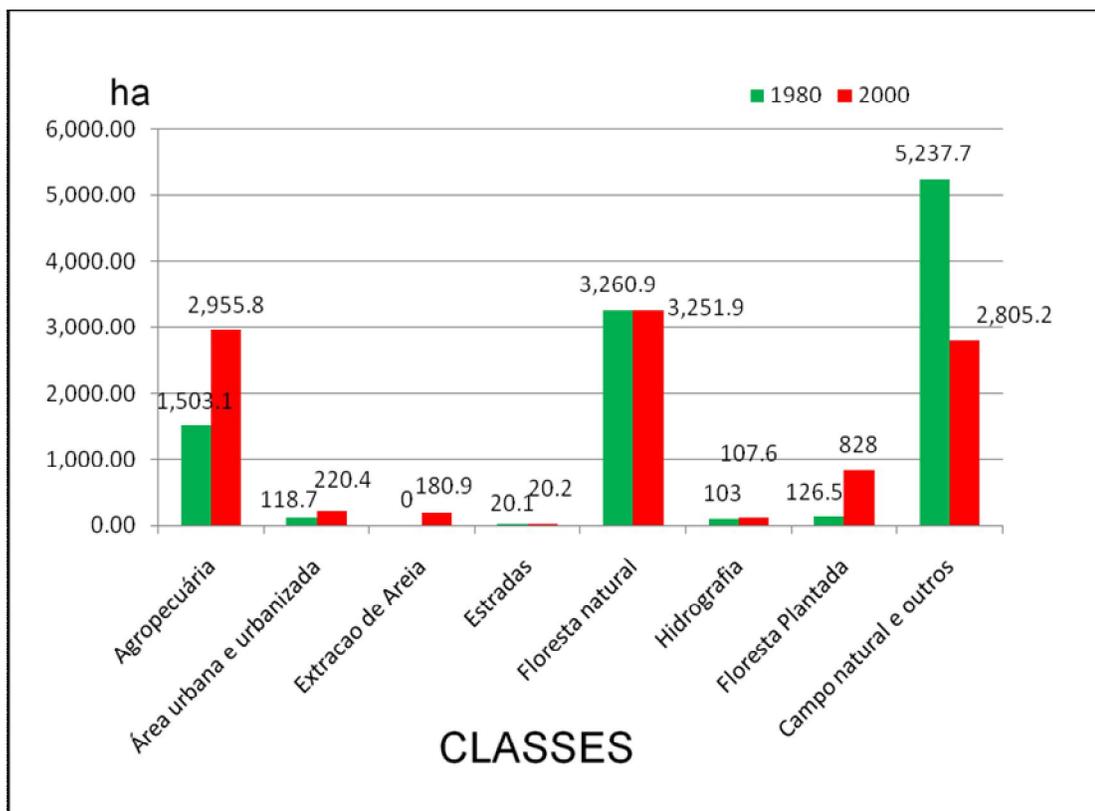


Figura 32 – Gráfico de colunas apresentando diferença entre as classes de 1980 e 2000.

O presente gráfico de colunas serve para apresentar de forma mais didática as alterações sofridas no uso e cobertura da terra entre os anos de 1980 e 2000, através da interpretação visual. Percebe-se uma significativa diminuição das áreas de campo natural e outros, bem como um considerável aumento nas áreas de agropecuária.

Em seguida estão apresentadas na Tabela 5 as áreas e respectivas diferenças na comparação entre o mesmo período, onde o sinal (+) significa aumento e o sinal (-) diminuição de um ano para outro.

Tabela 5 – Mudanças apresentadas no uso e cobertura da terra entre 1980 e 2000.

MUDANÇA APRESENTADA NO USO DA TERRA ENTRE 1980 E 2000					
CLASSES	ÁREA (ha)				Diferença %
	1980	%	2000	%	
Agropecuária	1.503,1	14,5	2.955,8	28,5	+96,6
Área Urbana	118,7	1,1	220,4	2,1	+85,5
Extração de areia	0,0	0,0	180,9	1,8	–
Estradas	20,1	0,2	20,2	0,2	+0,4
Floresta natural	3.260,9	31,5	3.251,9	31,4	-0,2
Hidrografia	103,0	1,0	107,6	1,0	+4,5
Floresta plantada	126,5	1,2	828,0	7,9	+554,1
Campo natural e outros	5.237,7	50,5	2.805,2	27,1	-46,4
Total	10.370,0	100,0	10.370,0	100,00	

Na Tabela acima se observa que enquanto houve significativo aumento em áreas de agropecuária e nas áreas urbana e urbanizada, houve uma diminuição de mais de 46% nas áreas de campo natural entre 1980 e 2000. A classe reflorestamento que era apenas 1,2% da área total, sofreu um aumento de mais de 554% no mesmo período, enquanto que a classe extração de areia que não existia, no ano de 1980, passou a ocupar 180,9 ha.

Ao final de 20 anos percebe-se que praticamente não houve mudança na área de floresta, havendo uma diminuição de apenas 0,2% entre as duas datas, comparando-se as fotoimagens.

Na sequência do trabalho, aplicando a técnica de detecção de mudanças pós-classificação, foi necessário a reamostragem do mapa de uso e cobertura de 1980, para ter a mesma resolução espacial das ortoimagens digitais de 2000, 0,84 metros.

Como os mapas de uso e cobertura da terra referentes a 1980 e 2000 estavam no formato digital, e com resolução espacial de 2,00 metros e 0,84 metros, respectivamente, foi necessário fazer uma reamostragem para que ficassem equiparados metricamente. Através do cruzamento das informações de ambos, elaborou-se o mapa de dinâmica do uso da terra 1980 x 2000 (Figura 34). Este mapa adiciona novo potencial de análise das mudanças com a característica de evidenciar os polígonos das classes que não sofreram alteração no período

mencionado, assim como os polígonos de classes que sofreram mudanças de uma para outra classe.

Um aspecto de fundamental importância na geração desse novo mapa foi quanto à definição do número de classes a serem geradas, e que depende do enfoque do intérprete (analista). No presente caso, o enfoque foi direcionado para as áreas de vegetação. Os fragmentos florestais, são áreas de florestas que não mudaram, ou seja, permaneceram desde o ano de 1980 até o ano de 2000. Em geral, esta classe está associada às áreas de proteção ambiental da rede de drenagem. Dependendo do número de classes geradas, os resultados (mapa e tabela com os valores numéricos) ficam diferentes entre si.

No mapa de dinâmica 1980 x 2000 (Figura 33), observam-se algumas mudanças ocorridas, como por exemplo, no oeste da área, de cor vermelha, sendo constatado no levantamento de campo que corresponde a reflorestamentos de eucalipto e pinus. Há também no leste da imagem uma grande área contínua de agropecuária, na cor amarela. As áreas de florestas aparecem na coloração verde com tonalidade mais escura e as áreas de campos naturais em vermelho escuro. Em vermelho, de tonalidade mais clara são as áreas de floresta plantada e em branco as áreas de areial.

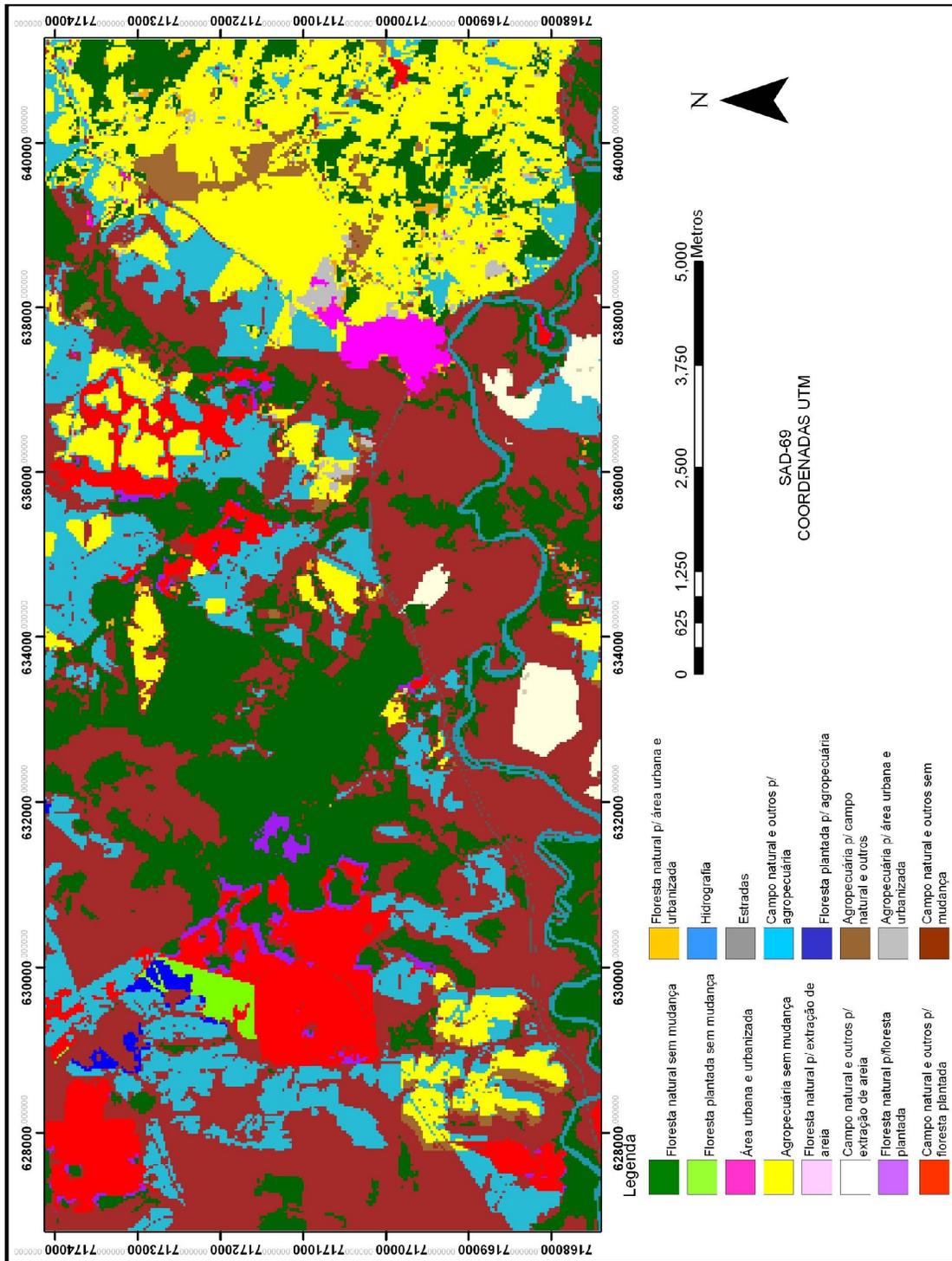


Figura 33 – Mapa de dinâmica do uso e cobertura da terra 1980 x 2000.

Os resultados das áreas aparecem na Tabela 6, abaixo.

Tabela 6 – Área em hectares das classes temáticas do mapa de dinâmica 1980 x 2000.

CLASSES	ÁREA (ha)	%
Floresta natural sem mudança	2.403,8	23,2
Floresta plantada sem mudança	45,5	0,4
Área urbana e urbanizada	85,6	0,8
Agropecuária sem mudança	1.593,0	15,4
Floresta para extração de areia	3,3	0,0
Campo natural e outros p/ extração de areia	174,6	1,7
Floresta natural p/ floresta plantada	82,8	0,8
Campo natural e outros p/ floresta plantada	684,5	6,6
Floresta natural p/ área urbana e urbanizada	35,5	0,3
Hidrografia	154,4	1,5
Estradas	28,8	0,3
Campo natural e outros p/ agropecuária	1.423,8	13,8
Floresta plantada p/ agropecuária	36,8	0,4
Agropecuária p/ campo natural e outros	183,9	1,8
Agropecuária p/ área urbana e urbanizada	53,1	0,5
Campo natural e outros sem mudança	3.356,1	32,4
TOTAL	10.345,5	99,9

É importante a análise comparativa do mapa da dinâmica 1980/2000 e de sua tabela, com os respectivo material interpretativo do mapa de uso e cobertura de 2000. Dois aspectos serão abordados: comparação da área total mapeada e reclassificação das classes do mapa de dinâmica 1980/2000, tornando-o similar em número de classes ao mapa de uso e cobertura de 2000.

A área de estudos total mapeada em 2000 resultou em 10.370,0 hectares (Tabela 4), enquanto que no mapa de dinâmica esse valor resultou 10.345,5 hectares, sendo portanto menor, 0,2% em área. Explicação para tal advém do fato de que houve uma reamostragem do mapa de uso e cobertura de 1980, tornando-o em uma mesma escala que o Mapa de 2000, em face de que estavam originalmente em resolução espacial ligeiramente diferentes. Como o erro foi muito pequeno, -0,2% em área, considera-se como sendo aceitável na escala do mapeamento em questão.

No segundo procedimento comparativo as 16 classes foram reagrupadas novamente nas 8 classes consideradas em 2000. Assim, a área da classe floresta plantada passa a ter a soma 45,5 ha (floresta plantada sem mudança), + 82,8 ha (floresta natural para floresta plantada), + 684,5 ha (Campo natural e outros para floresta plantada), totalizando 812,8 ha, portanto, sendo 1,8% menor, aos de 828,0 ha, encontrados em 2000. A Tabela 7 fornece os valores de área para as outras 7 classes consideradas.

Tabela 7 – Valores comparativos entre o mapa de uso e cobertura de 2000 e a reclassificação do mapa de dinâmica 1980/2000.

CLASSE	MAPA 2000 (ha)	MAPA DINÂMICA (ha)	DIFERENÇA %
Extração de areia	180,9	177,9	-1,6
Floresta natural	3251,9	2403,8	-26,0
Agropecuária	2955,8	3053,6	+ 3,3
Floresta plantada	828,0	812,8	- 1,8
Área urbana	220,4	174,2	- 20,9
Hidrografia	107,6	154,4	+ 43,5
Estradas	20,2	28,8	+ 42,6
Campo natural e outros	2805,2	3540,0	+26,2

Observa-se, entre as classes mais importantes, então, uma discrepância de -848,1 ha para a classe floresta natural e de +734,8 ha na classe campo natural e outros. Neste trabalho, essas diferenças encontradas acima foram incorporadas à classe campo natural e outros. Esta classe é considerada de pouca importância ao fim deste trabalho, e a ela foi dirigido o acúmulo de mudanças ou resíduos.

Esse cruzamento entre mapas temáticos de 1980 e 2000, aparentemente simples, traz consigo uma série de dificuldades relacionadas, principalmente com o correto registro ou georreferenciamento dos mapas individuais e com a acurácia temática desses mapas. Um dos principais problemas produzidos por essas características são as mudanças que não tem expressão no terreno, nem significado temático para essa região. Essas mudanças são tratadas como “resíduos da detecção”.

Os “resíduos” ou “classe resíduo da detecção” é interpretado como uma classe de mudança, simplesmente produzida por erros do mapeamento oriundos de cada mapa. O resíduo se caracteriza principalmente por ser uma mudança impossível ou irreal, e que afeta a determinação de área de todas as classes consideradas. Este resíduo, principalmente se produz por falta de concordância geométrica no correto registro entre os mapas utilizados.

Outra causa a ser considerada são as diferenças de interpretação das classes ou o uso de diferentes pessoas durante a interpretação visual das fotografias ou das imagens, sendo que este último não ocorreu no presente trabalho. Essas causas produzem diferentes limites entre classes, diferentes critérios para detalhamento ou suavização dos limites, portanto, diferentes polígonos, embora não existam mudanças no terreno.

A ocorrência de resíduos na atualização digital por diferença entre bandas é diferente da observada no cruzamento entre mapas, como o adotado no presente trabalho. A incidência dos resíduos é menor quando são usadas técnicas digitais de detecção de mudanças, principalmente porque os efeitos do corregristo são menores aos da detecção pós-classificação, pois a compatibilidade geométrica entre produtos de satélite geralmente é maior. Além disso, não existem diferenças entre intérpretes e, por essas razões em geral o resíduo é muito menor nessas técnicas digitais.

No presente trabalho o uso de fotoimagens, sem a devida correção de escala, inclinação da câmera aerofotogramétrica e do terreno, para a geração do mosaico, proporcionou erros geométricos no mapa de 1980 e cujas consequências acarretou parte dos erros de área encontrados em algumas classes. As fotoimagens de 1980 deveriam ter sido georreferenciadas individualmente, com isto os erros geométricos poderiam ter sido menores.

O mosaico de 2000, referencial na presente análise, não apresentava esta restrição geométrica, visto estar no formato de ortofotocarta, na qual os erros geométricos das fotoimagens são, em teoria, eliminados.

Neste trabalho, a incidência do resíduo ou classe resíduo da detecção foi alta. Esta magnitude está relacionada, como anteriormente mencionado, com a magnitude da falta de concordância geométrica entre mapas e com a longitude dos contatos entre as classes, por efeito da fragmentação das áreas naturais contidas nesta área.

Algumas causas que produzem os resíduos são mostrados graficamente na Figura 34.

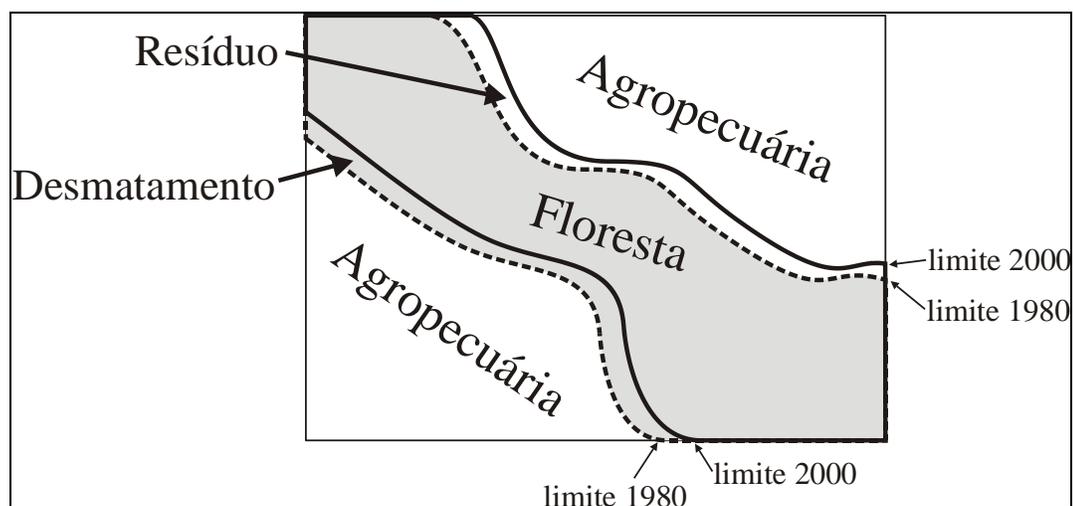


Figura 34 – Efeito das mudanças por deslocamento dos polígonos ou não concordância geométrica entre os mapas utilizados.

Na Figura 34 se observa um caso genérico do efeito das mudanças devido aos deslocamentos dos polígonos e da falta de concordância geométrica entre mapas. Por efeito do deslocamento aparecem mudanças na floresta para agropecuária, interpretadas como desmatamento. Do lado oposto do polígono, aparecem mudanças de agropecuária para floresta, interpretadas como irreais ou impossíveis para o tempo de regeneração de uma floresta mista, portanto, esta classe é rotulada como “classe residual” ou “classe resíduo da detecção”, e neste trabalho foram espacialmente incorporadas à classe campos natural e outros.

Os resíduos afetam as classes mais fragmentadas ou com maior proporção de áreas de contacto com outras classes. Por exemplo, no mapa a classe floresta plantada é pouco fragmentada, portanto, pouco afetada por estes efeitos. No mapa da dinâmica temos 812,8 ha de floresta plantada, da soma das floresta sem mudanças, mais as mudanças para a classe floresta plantada. Esta soma permite estimar que 16 ha de novas florestas plantadas não foram computados na detecção ou tenham sido incorporadas a outras mudanças.

De acordo com esta análise, por efeito dos erros, o mapa da dinâmica para os anos 1980/2000 da Figura 34, não pode ser usado numa análise quantitativa detalhada. Mas, esse mapa possui um valor histórico e uma importância para fins do planejamento regional, mostrando tendências de uso e a evolução das áreas.

5.3. Resultado da aplicação das técnicas com imagens de satélite

Pelo fato de não existir uma nova cobertura aerofotogramétrica da área de estudo, no período posterior a 2000, utilizaram-se imagens do satélite Landsat 5 para a continuação da análise temporal.

A escolha para dar sequência ao mapeamento para 2009 foi, entretanto, utilizar uma técnica de análise de detecção de mudanças (RCEN) que fosse rápida e evitasse toda a tarefa demorada de mapeamento em tela, que para os anos de 1980 e 2000 demorou aproximadamente dois meses de trabalho, para cada uma das datas. A técnica RCEN necessitou apenas uma semana de trabalho, mas com a desvantagem de não resultar em um mapa estático de uso e cobertura da terra de um determinado instante. A técnica permite a detecção de mapa de dinâmica não se fazendo necessário de apoio de campo para confirmar se houve ganho, perda ou mesmo não alteração de classes, que são as classes que não mudam.

Porem, quando da necessidade de obtenção de dados de classes específicas, este sim se faz necessário. No presente trabalho, essa atenção foi dedicada para as áreas de floresta natural e floresta plantada. Em seguida apresenta-se a imagem do ano de 2001, conforme Figura 35, utilizada nesse trabalho.

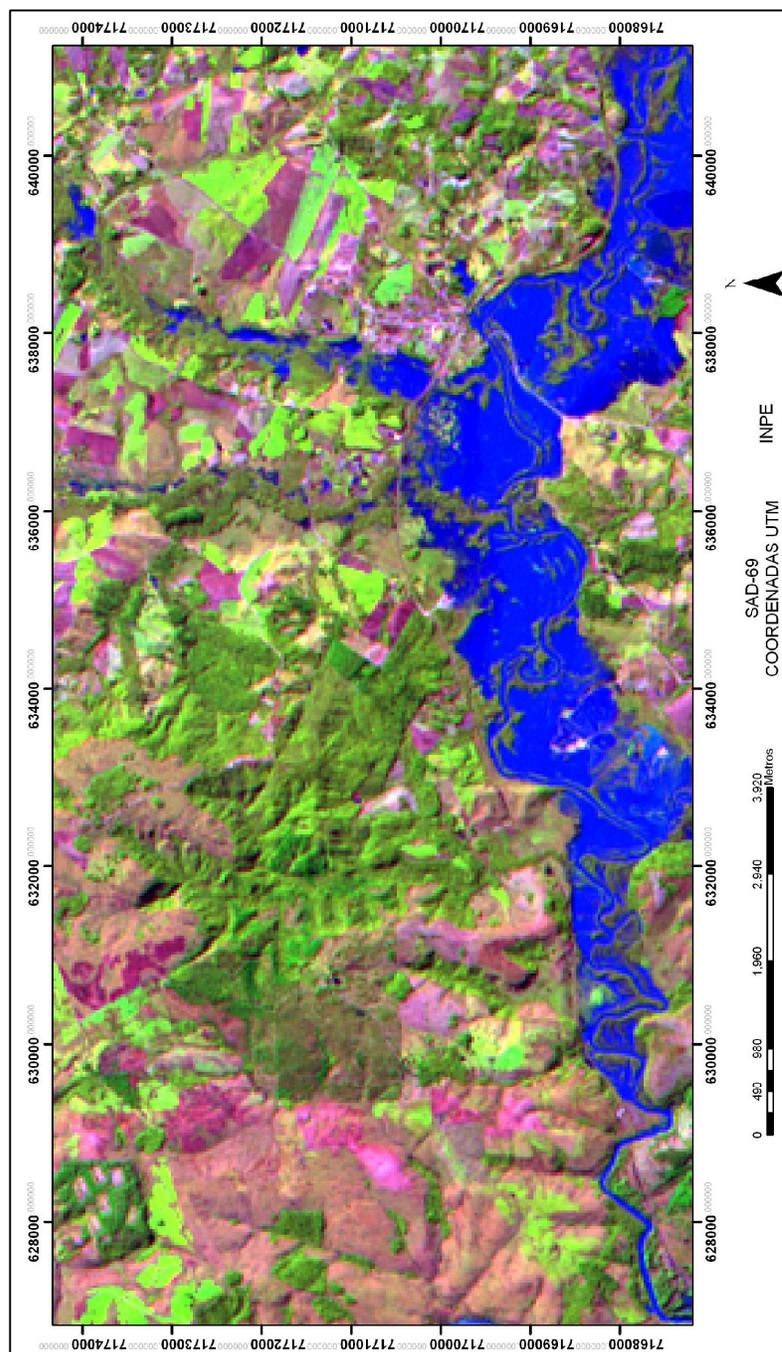


Figura 35 – Imagem Landsat 5 TM do ano de 2001.

Nestas imagens (Figura 35 e 36), podem ser observadas as áreas de campos naturais e a maioria das áreas de uso agropecuário com cores magenta. Algumas áreas de agropecuária com cultivo aparecem em verde claro e texturas homogêneas. Também observam-se áreas de inundação ao longo do Rio Iguaçu, sendo bem diferente do que aparecia nas fotografias de 1980 e 2000.

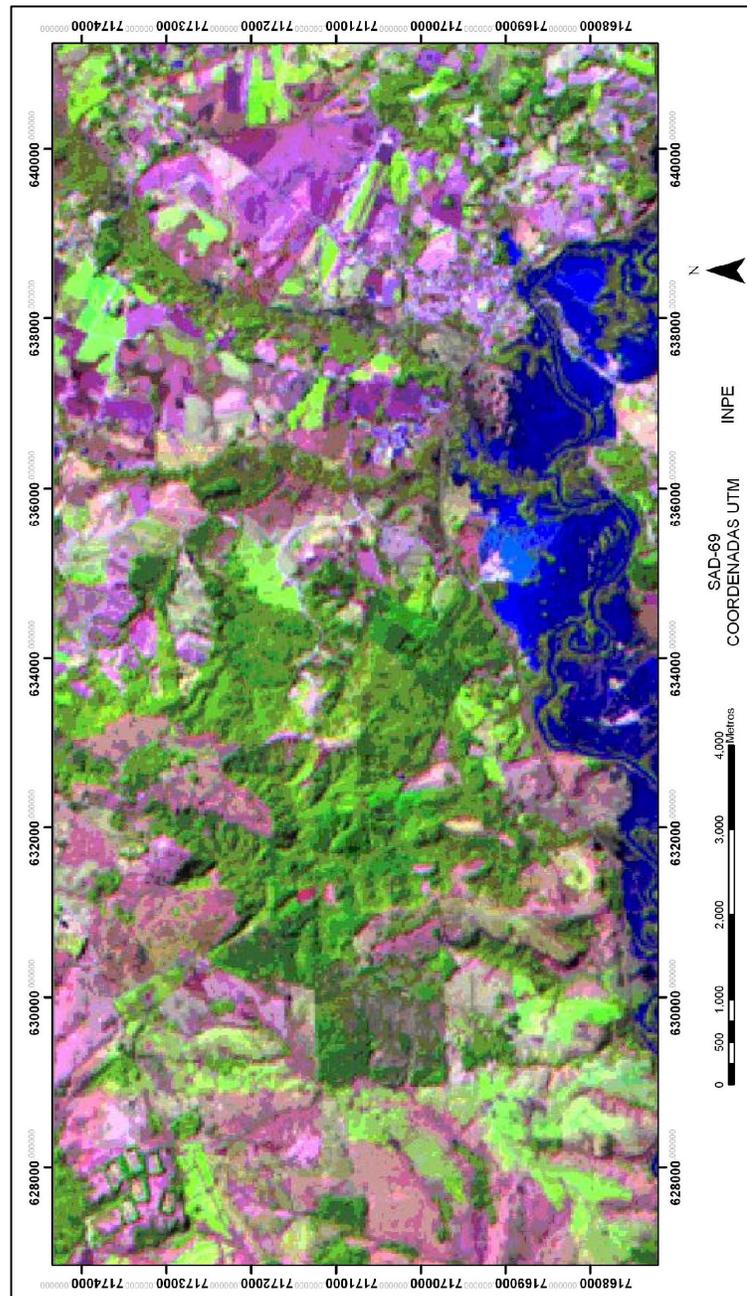


Figura 36 – Imagem Landsat 5 TM do ano de 2009.

Adicional análise visual das imagens de 2001 e 2009 permitem a extração de informações das alterações do uso e cobertura da terra quanto às classes de floresta natural e floresta plantada. Ainda, na classe agropecuária pode-se perceber mudanças que ocorreram com o passar do tempo. No extremo sudoeste da área houve redução da área de floresta plantada; no lado leste, um aumento das áreas de agropecuária e no centro da área permanece estática, a área urbana.

Para que se efetuasse a técnica RCEN, foi necessário a reamostragem do mapa de uso e cobertura da terra de 2000, para 30 metros, cujos resultados em área são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Diferença entre mapas de uso e cobertura da terra 2000 com 0,84m e 30m.

DIFERENÇA APRESENTADA ENTRE OS MAPAS DE USO E COBERTURA DA TERRA DE 2000					
CLASSES	Área (ha)				Diferença %
	2000 0,84m	%	2000 30m	%	
Agropecuária	2.955,8	28,5	2.955,3	28,6	-0,02
Área Urbana	220,4	2,1	220,9	2,1	0,23
Extração de areia	180,9	1,8	181,3	1,8	0,22
Estradas	20,2	0,2	8,7	0,01	-56,93
Floresta natural	3.251,9	31,4	3.243,4	31,3	-0,26
Hidrografia	107,6	1,0	108,9	1,1	1,21
Floresta plantada	828,0	7,9	822,1	7,9	-0,71
Campo natural e outros sem mudança	2.805,2	27,1	2.806,5	27,1	0,05
Total	10.370,0	100,0	10.347,1	99,9	-0,22

Na reamostragem realizada ao mapa de uso e cobertura da terra de 2000, para 30 metros, apresentaram-se poucas diferenças entre classes, exceto na classe estradas, onde houve um decréscimo de mais de 56% da área, pois esta classe, geralmente apresenta-se por linhas simples ou dupla muito próximo uma da outra, as quais são englobadas em regiões maiores, de forma a mesclarem-se em outras classes, por exemplo.

Na Figura 37 está o mapa de detecção de mudanças entre 2001 e 2009 gerado através da técnica RCEN. O significado deste mapa é completamente diferente dos mapas anteriores (Figuras 21 e 26). Deve-se destacar que sua tipologia é constituída por apenas cinco classes, que são referentes à perda (alta e média), ganho (alto e médio) ou não alteração das classes referentes à cobertura vegetal. Neste mapa, Figura 37, pode-se observar os locais que mais sofreram alterações.

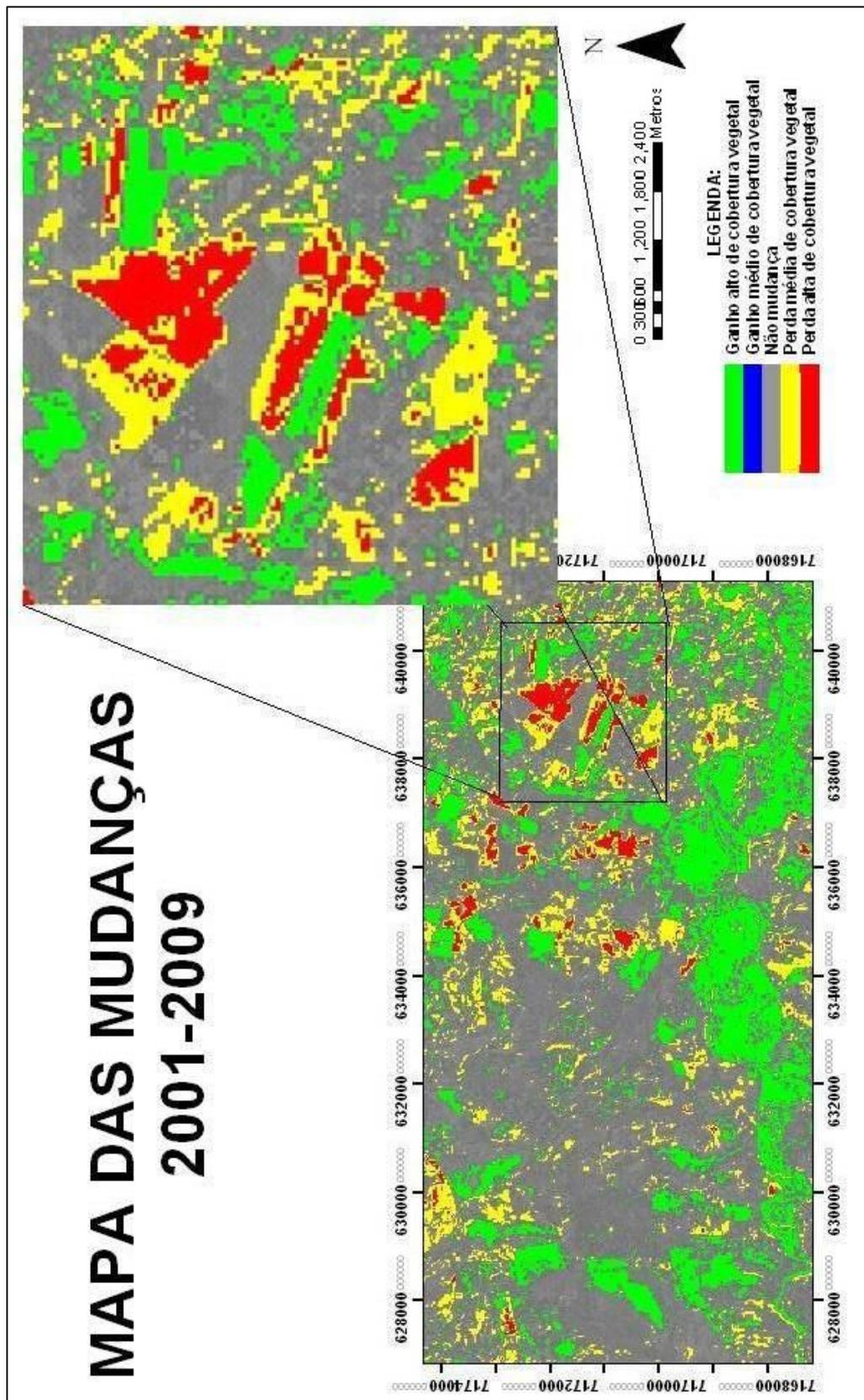


Figura 37 –Mapa detecção de mudanças 2001-2009 com cinco classes.

Para entender melhor os resultados da RCEN e sua integração com imagens de satélite 2001 e 2009, destaca-se uma pequena área da Figura 38, para análise conjunta nas duas imagens de satélite consideradas.

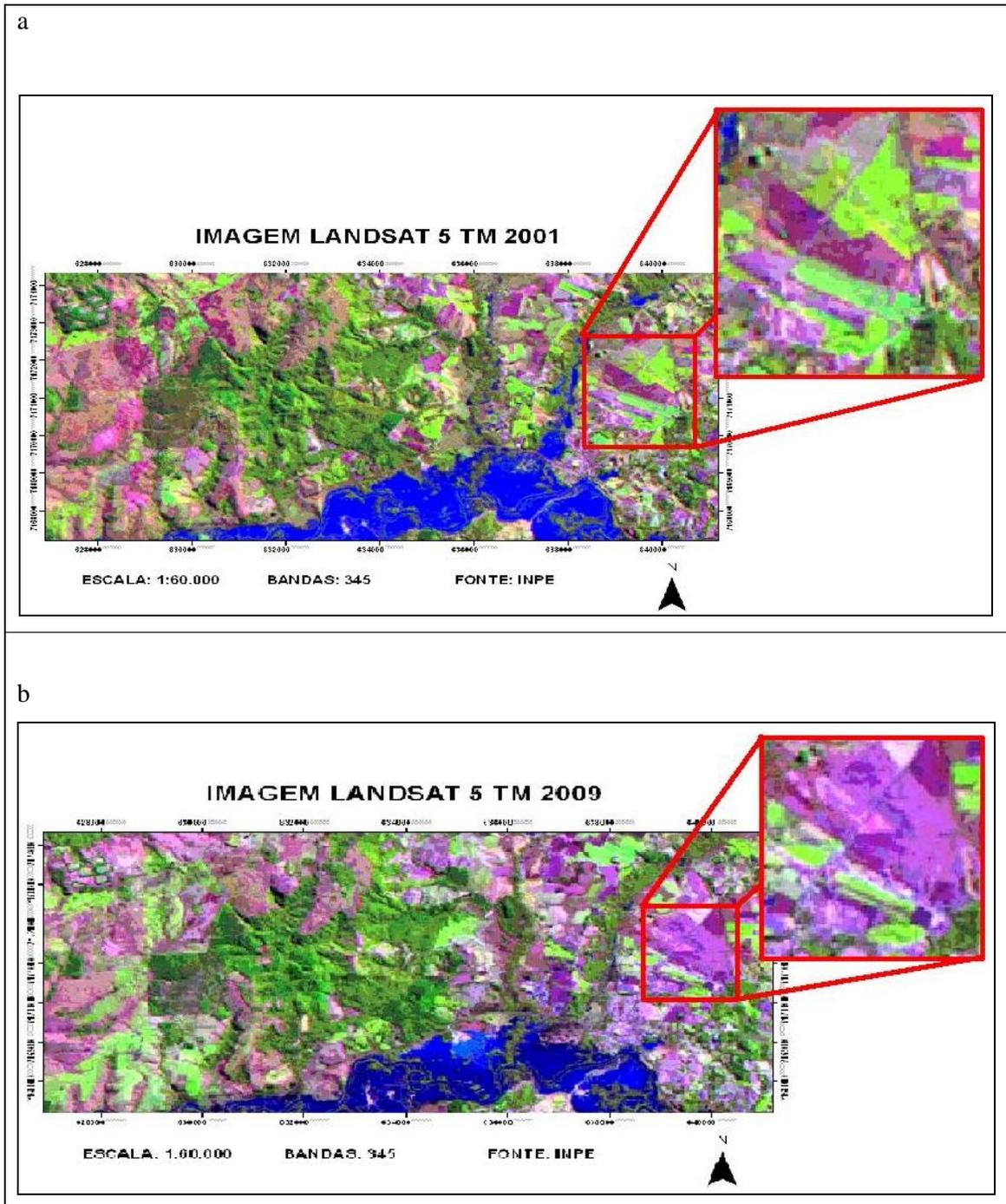


Figura 38 – (a) Imagem Landsat 5 de 2001 e (b) imagem Landsat 5 de 2009.

Em vermelho, no destaque da imagem (Figura 37), observa-se uma perda alta de cobertura vegetal, o que pode também ser visualizado na Figura 38b, associado à perda vegetacional devido à época de colheita das áreas de agropecuária; em azul na Figura 37, um ganho médio de cobertura vegetal, que em 38a visualiza-se no canto superior direito; em cinza, na Figura 38, não mudança, podendo-se visualizá-la em ambas Figuras 38a e 38b, pelas áreas de campos naturais e outros sem mudanças ou mesmo áreas de agropecuária que nesta época do ano apresentam-se sem cultivos; em amarelo, Figura 37, uma perda média de cobertura vegetal, associado ao preparo da terra, também visualizado nas Figuras 38a e 38b, aumentando a classe campo natural e outros sem mudança; em verde, Figura 37, um ganho alto de cobertura vegetal, visualizado na Figura 38a, que ocorre numa área de agropecuária; tudo isto pode ser visualizado em ambas imagens.

Na Tabela 9, apresenta-se a radiometria das classes em forma qualitativa para visualizar os fundamentos da detecção de mudanças com imagens digitais.

Tabela 9 – Caracterização radiométrica das classes mais importantes encontradas no mapa de uso e cobertura da terra entre 2001-2009.

NÍVEL DE CINZA	FLORESTA NATURAL		FLORESTA PLANTADA.		AGROPEC.		CAMPO NATURAL E OUTROS		URBANA		EXTRAÇÃO AREIAL		INUNDADO/HIDRO	
	B3	B4	B3	B4	B3	B4	B3	B4	B3	B4	B3	B4	B3	B4
Muito Alto														
Alto														
Médio														
Baixo														
Muito Baixo														

Na Tabela acima pode-se observar as diferenças radiométricas entre classes, por exemplo, as mudanças de floresta para agropecuária significam que a banda 3 tem aumentado muito seu valor, porém a banda 4 continuará com valores semelhantes; mudanças de floresta para campo natural e outros serão detectadas porque a banda 3 aumenta e simultaneamente a banda 4 diminui. Esta mudança radiométrica está representada na imagem detecção como a sua diferença com a média da imagem. A magnitude e orientação da mudança são representadas na imagem detecção gerada pelo fatiamento dessa imagem, para produzir cinco classes temáticas. A posição dos limiares corresponde aproximadamente com a posição de um

e dois desvios padrão da média do dispersograma de frequências da imagem detecção de mudanças. Esses limiares são utilizados para definir as classes cujas radiometrias estão centradas na média da distribuição da imagem detecção. Desta maneira a classe “não mudança” está centrada na média e inclui todos os pixels com valores entre limiares definidos pela média menos um desvio-padrão e a média mais um desvio padrão. E as classes de média intensidade serão definidas entre os limiares de não mudança e dois desvios-padrão, e a alta intensidade de dois desvios-padrão até os extremos da distribuição de frequência. Em seguida é possível analisar a magnitude da mudança radiométrica e sobre que classes ocorrem para produzir uma mudança temática.

As mudanças de média intensidade foram interpretadas como mudanças de classe, somente para algumas classes, aumentando a superfície ocupada pela classe campo natural e outros. A classe campo natural e outros agrupa classes que não podem ser discriminadas com esta técnica, como pastagem e macega, por exemplo.

A classe agropecuária convertida em floresta plantada também oferece boa confiabilidade e é obtida da intersecção de áreas de agropecuária com áreas de alto ganho de cobertura vegetal, sobretudo pela razão de as imagens serem de época seca e de baixa cobertura de cultivos, assim observado na Figura 38, em tons magenta.

Áreas de alta perda de cobertura vegetal, associadas espacialmente a áreas urbanas e urbanizadas, foram interpretadas como expansão das áreas urbanas. Porém, algumas dessas novas áreas podem ter sido omitidas quando se considera esta condição de vizinhança, podendo-se assim estimar um erro de omissão alto, considerando-se uma legenda não confiável.

De acordo com a técnica desenvolvida e o estudo realizado, não se observou qualquer mudança de outras classes para a classe floresta natural, mas sim o contrario, isto é, mudanças que ocorreram sim, de áreas de floresta natural para qualquer outra classe.

O mapa de uso 2000 (Figura 26), foi atualizado para o mapa de dinâmica 2009, através do cruzamento com o mapa das mudanças (Figura 38). A informação contida no mapa de mudanças, ganho e perda de cobertura vegetal, permitiu atualizar o mapa de uso 2000 e obter o mapa da dinâmica de uso e cobertura 2001-2009 (Figura 39) com 12 classes e as respectivas áreas na Tabela 10.

Mudança em qualquer sentido na classe floresta natural significa mudança de classe, sendo que a classe final dependerá do sentido e intensidade da mudança. Nesta classe, ganho pode significar que o dossel arbóreo misto da floresta natural foi substituído por um dossel

homogêneo de uma floresta plantada ou de uma cultura densa na época seca. A perda alta nesta classe pode significar mudanças para uso agropecuário, urbano ou ainda, área inundada.

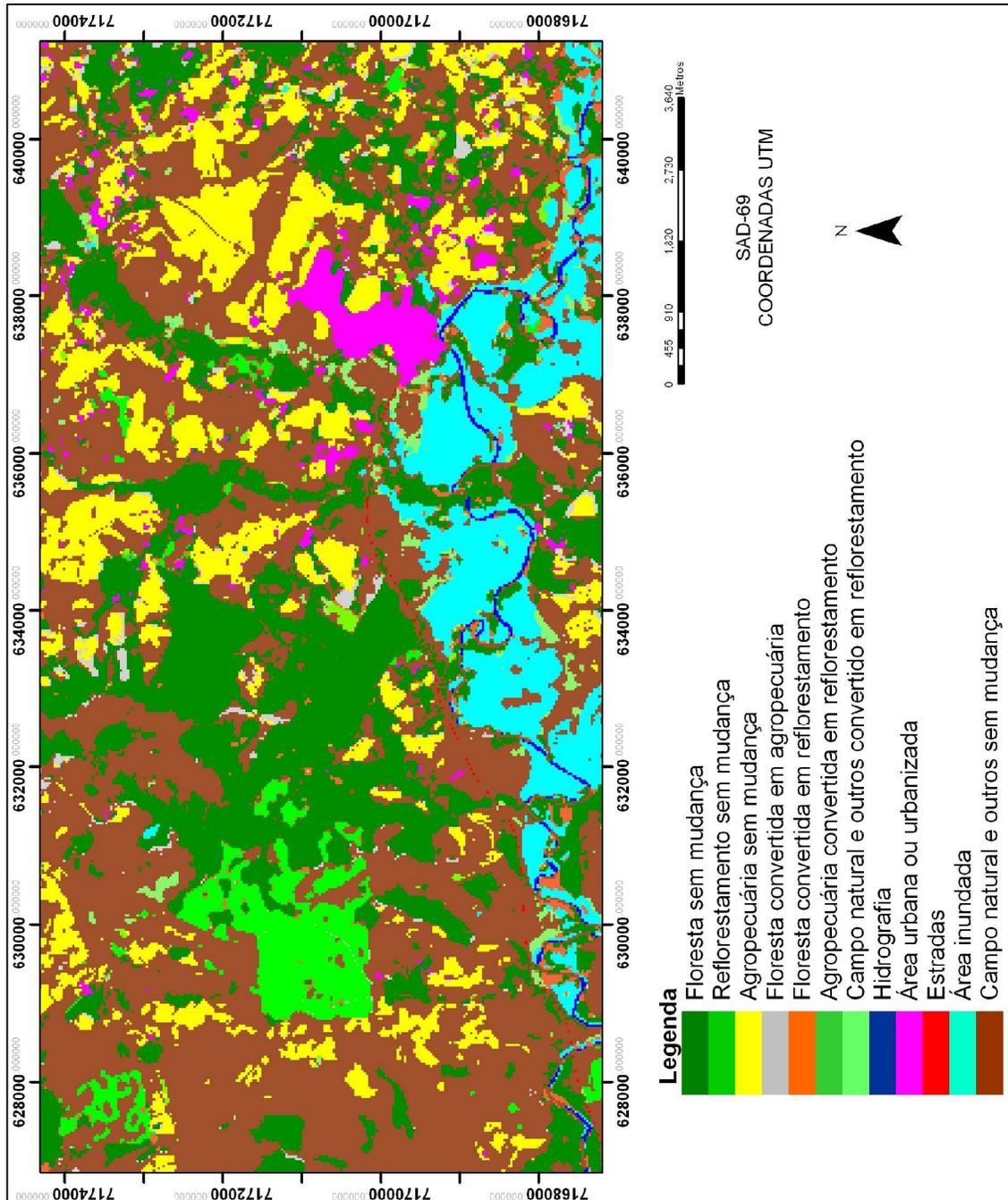


Figura 39 – Mapa da dinâmica do uso e cobertura 2001-2009.

Assim, obteve-se o seguinte resultado quantitativo do mapa da Figura 39, apresentado na Tabela 10:

Tabela 10 – Total amostrado ao mapa da dinâmica do uso cobertura 2009.

CLASSES	ÁREA (ha)	%
Floresta natural sem mudança	2.510,6	24,1
Floresta plantada sem mudança	387,9	3,7
Agropecuária sem mudança	1.327,6	12,7
Floresta natural convertida em agropecuária	147,0	1,4
Floresta natural convertida em floresta plantada	148,9	1,4
Agropecuária convertida em floresta plantada	53,1	0,5
Campo natural e outros convertido em floresta plantada	132,3	1,3
Hidrografia	55,4	0,5
Área urbana ou urbanizada	244,3	2,3
Estradas	8,6	0,1
Área inundada	835,3	8,0
Campo natural e outros sem mudança	4.580,9	43,9
TOTAL	10.431,9	99,9

Na Figura 39 observam-se as áreas que não mudaram entre 2001 e 2009. As classes com mudanças produzem ou não mudanças de classe, dependendo do significado da intensidade e sentido da mudança, observada no mapa das mudanças.

Como o enfoque principal está nas classes de vegetação, que são principalmente as classes de floresta natural, floresta plantada e campos naturais e outros, bem como as áreas de agropecuária, segue a Tabela 11.

Tabela 11 – Classes de interesse entre o mapa de uso e cobertura da terra 2000 com 30m e o de dinâmica 2009 com 30 m.

CLASSES	MAPA 2000 30m(ha)	MAPA DINÂMICA 2009 30m(ha)	DIFERENÇA %
Floresta natural	3.243,4		
Floresta sem mudança		2.510,6	
TOTAL DE FLORESTA	3.243,4	2.510,6	-22,6
Agropecuária sem mudança	2.955,3	1.327,6	
Floresta convertida em agropecuária	-	147,0	
TOTAL DE AGROPECUARIA	2.955,3	1.474,6	-50,1
Floresta plantada sem mudança	822,1	387,9	
Agropecuária convertida em floresta plantada	-	53,1	
Floresta natural convertida em floresta plantada	-	148,9	
Campo natural e outros convertido em floresta plantada	-	132,3	
TOTAL DE FLORESTA PLANTADA	822,1	722,2	-12,2
Campo natural e outros sem mudança	2.806,5	4.580,9	
	2.806,5	4.580,9	63,2
Área urbana	220,9	244,3	10,6
Hidrografia	108,2	55,4	-48,8
Estradas	8,7	8,6	-1,1
Areial	181,3	-	
Área inundada	-	835,3	
TOTAL DEMAIS ÁREAS	519,1	1.143,6	116,1
TOTAL GERAL	10.347,1	10.341,9	-0,05

Na Tabela 11 observa-se que 22,6% da superfície florestada em 2000 foram alterados significando que houve detecção de mudança para outras classes, qualquer que seja a direção da mudança. Sobretudo destaca-se que nesta classe, 22,6%, não possui muito significado, devido os dados comparativos de mudancas entre 1980 e 2000, pelo mapa de dinamica não possuir confiabilidade, haja vista a apresentação dos residuos de detecção existentes, apresentado pelo mosaico do ano de 1980, devido a não compatibilidade geométrica apresentada.

As mudanças que aumentaram a área de campo natural e outros (+63,2%) são mudanças cuja confiabilidade é muito baixa, pelo que esta classe foi usada como uma classe de acumulação de mudanças sem interesse ou pouco confiáveis.

Do total de área apresentada, nota-se que a diferença é mínima, ficando em -0,05% no mapa de dinâmica 2009. Dentre todas as áreas apresentadas, as que mais sofreram alterações foram as classes floresta natural, agropecuária, floresta plantada e campo natural e outros.

Há limitação das técnicas de detecção de mudanças haja vista a necessidade de se realizar a supervisão de campo para numerosas classes, muitas que representam mudanças, desde classes que não podem ser vistas durante o trabalho de campo, porém para esse trabalho a técnica adotada com navegação em tempo real sobre o mapa de uso anterior mostrou-se eficiente e rápido na aferição da qualidade do mapeamento.

A técnica RCEN apresentou dificuldade na atualização de alguns temas, especialmente aqueles nos quais a direção e intensidade da mudança apresentam alta confusão quando consideramos se produz ou não mudança de uso. Por isso a classe temática campo natural e outros sem mudança foi usada para englobar as áreas com baixa confiabilidade ou áreas de pouco interesse.

Finalizando os comentários gerais referentes aos diversos mapas temáticos produzidos no presente estudo, verificou-se que dos 2.806,6 ha de floresta natural, em 2009 (mapa da dinâmica do uso e cobertura 2009), 147 ha foram convertidos para agropecuária e 148,9 ha convertidos para floresta plantada. Essas mudanças são confiáveis no que se refere à perda de floresta, porem diferenças entre floresta plantada e agropecuária podem ser pouco precisas, pois uma área de floresta plantada recém implantada apresenta características de nova cultura agrícola.

No período de 2001-2009, cerca de 334 hectares foram convertidos em floresta plantada, dos quais 44% eram de antigas florestas, 16% eram de agropecuária e 40% eram da classe campo natural. A intensidade e sentido destas mudanças permitem boa confiabilidade

se considerarmos que a resposta espectral do infravermelho nas áreas de floresta plantada é muito elevada desde os primeiros estádios do crescimento do plantio, e está portanto contrastando com as classes agropecuária e campo natural e outros.

Abrangendo os municípios de Sinop, Claudia e Itauba, em Mato Grosso, Santos et. al. (2005) utilizaram imagens ETM+/Landsat e CCD/CBERS-2, dos anos de 2002 e 2004, todas na banda do vermelho, e aplicaram a técnica RCEN. Concluíram que a operação é mais simples aos usuários e evita uma complexa formulação para adequação radiométrica na comparação de imagens de distintos sensores. Esta técnica apresentou robustez na detecção e delineamento das transformações da paisagem, facilitando a integração de dados adquiridos com diferentes transparências atmosféricas e com diferentes sensores.

Sestini et. al. em 2009, estudando uma região do Estado do Mato Grosso do Sul, aplicou a técnica RCEN na detecção de mudanças, utilizando imagens Landsat TM dos anos de 1994 e 2002, as quais obteve resultados aceitáveis.

5.4. Resultados do trabalho de campo

O objetivo do trabalho de campo, foi identificar áreas onde ocorreram mudanças de uso da classe vegetação, fossem áreas florestais, de agropecuária, floresta plantada, urbana ou de campo natural e outros, e também as áreas de não mudança, como subsídio para se obter o mapa de mudanças dos anos de 2001 a 2009, com o intuito de obter acurácia dos mapas por meio da matriz de erro ou matriz de confusão.

O receptor utilizado, conforme norma técnica do INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, está classificado na categoria GPS1, para posicionamento isolado, cuja solução de navegação é instantânea, baseada em código C/A, sem correção diferencial. Seu uso em posicionamento absoluto não é permitido para trabalhos que necessitem fazer o georreferenciamento do local. Porém, como neste trabalho utilizou-se de imagens de média resolução espacial, de 30 metros, a precisão apresentada pelo receptor ficou entre 3 e 15 metros, o que foi aceitável. A Figura 40 ilustra os pontos verificados em campo.

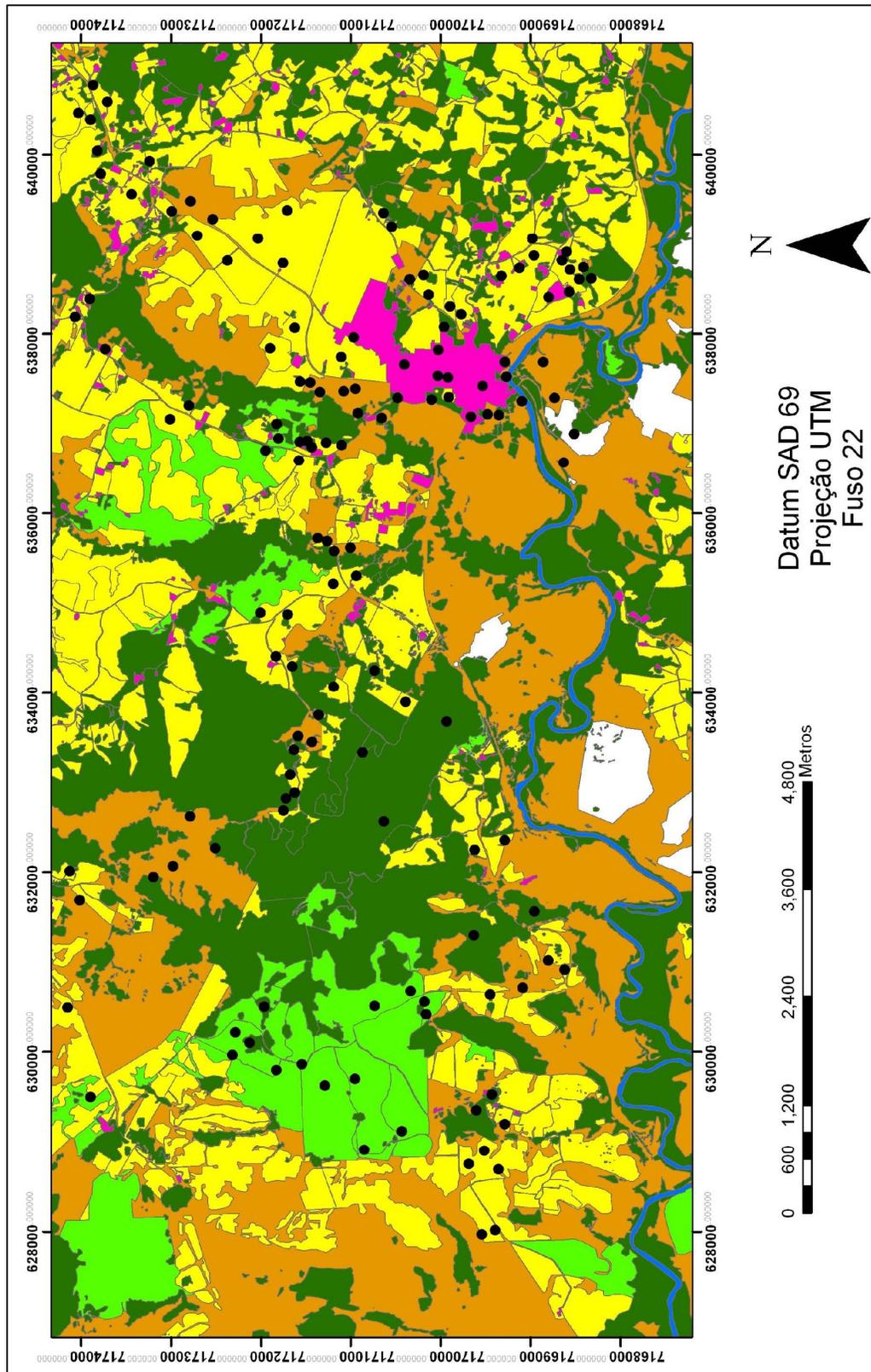


Figura 40 – Pontos de controle realizados, tendo o mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2000 como referência.

A coleta dos pontos amostrais ou pontos de controle, necessitou agilidade obtendo-se um número suficiente para avaliar o mapa de 2009 com 12 classes temáticas. Os programas utilizados foram o GTMPRO, viabilizando análise em tempo real, coletando pontos e marcando rotas no receptor GPS Garmin, modelo ETrex Vista. Para o processamento utilizou-se o *ArcMap 9.3* e o *Erdas 9.1*. Os materiais de apoio foram o mapa de uso e cobertura de 2000, um computador portátil (Figura 41) e um receptor GPS modelo Oregon 550 com câmera fotográfica e resolução de 5 MP.



Figura 41 – Tela em tempo real GTMPRO com mapa de uso de 2000.

Pode-se observar na Figura 41, na tela do computador portátil a navegação em tempo real utilizando o programa GTMPRO, o que proporcionou melhor visibilidade em campo de onde se encontrava o veículo e as classes em discussão.

Nas fotografias apresentadas na Figura 42 obtidas no trabalho de campo, é ilustrada a classe agropecuária em *a*, podendo-se também observar ao fundo uma área da classe floresta. Na fotografia (Figura 42a), georreferenciada e com rumo de tomada bem definido, foi possível definir um ponto amostral, a mais, da área de agropecuária, um ponto de córrego com vegetação natural e um ponto de floresta natural ao fundo.

a)

b)



Figura 42 – Fotografia coletada em trabalho de campo da classe agropecuária em *a*, e em *b* a classe estradas.

Na Figura 43a, pode-se observar a vegetação pouco desenvolvida da área urbana e dois tipos de pavimentos que formam o arruamento do perímetro urbano, em primeiro plano o pavimento de asfalto e à esquerda o pavimento de paralelepípedos. Também se observa a arborização do arruamento com exemplares de porte baixo. Estas características de Balsa Nova permitem discriminar bem a área urbana, tanto nas fotografias como nas imagens satelitárias, refletindo alta resposta e textura regular na área urbana.

a)

b)



Figura 43 – Área urbana ou urbanizada de Balsa Nova em *a* e em *b* a classe hidrografia e da área de proteção ambiental.

Na Figura 43b observa-se o rio Iguaçu, incluído na classe hidrografia, que é o mais importante da região. Além de ser fonte de captação de água para o município, nas suas margens ocorre também a extração de areia.

Ao sul da área de estudo, observa-se a extração de areia, sendo que na época das chuvas, essas áreas apresentam aspecto inundado (Figura 44).

a)

b)



Figura 44 – Aspecto da classe extração de areia (a) e da classe área inundada (b).

Na Figura 44b, observa-se uma área onde ocorreu a extração de areia, considerada anteriormente como classe areial. Este processo cessou, sendo então considerada como área inundada, devido aos poços que se formaram com o tempo, resultado dos serviços de dragagem. A Figura 45 ilustra a área caracterizada como floresta natural (ao fundo), e em primeiro plano observa-se a classe campo natural e outros.



Figura 45 – Campo natural e outos e ao fundo floresta natural.

No trabalho de campo, foram coletados 210 pontos amostrais, submetendo-os à análise de classes para que então fosse efetuada a matriz de confusão.

O resultado da aplicação da técnica de cálculo da acurácia para o mapa 2009 está na Tabela 12.

Tabela 12 – Matriz de confusão do mapa de uso de 2009.

Classes de Interpretação Visual	Classes de Interpretação Terrestre												Exatidão Global	Erro de Inclusão
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	14	3	2									2	21	33,3
2		17	3										20	15,0
3	1		37									1	39	5,1
4			8	3									11	66,6
5	1				1								2	50,0
6			1			1							2	0
7						1		1				2	4	0
8								8					8	0
9			1				1		18	3		2	25	29,1
10										8			8	0
11								1			15		16	6,2
12		1	27					1				25	54	51,8
Exatidão Global	16	21	79	3	1	2	1	9	20	11	15	32	147	
Erro de Omissão	12,5	19,0	54,3	0	0	0	0	0	10,0	27,2	0	22,5		

Os números das classes de interpretação correspondem: 1-Floresta natural sem mudança; 2-Floresta plantada sem mudança; 3-Agropecuária sem mudança; 4-Floresta natural para agropecuária; 5-Floresta natural para floresta plantada; 6-Agropecuária para floresta plantada; 7-Campo natural e outros para floresta plantada; 8-Hidrografia; 9-Área urbana e urbanizada; 10-Estradas; 11-Área inundada; 12-Campo natural e outros sem mudança.

Os resultados encontrados indicaram que para a atualização de um mapa de uso com um mapa de detecção de mudanças, a partir de uma imagem de média resolução espacial do Landsat 5 TM, obteve-se um bom índice de exatidão global, no valor de 0,7, e, um índice Kappa muito bom, 0,64 segundo a categorização de Landis e Koch (1977). Foram utilizados 210 pontos de controle, sendo 147 o número de acertos geral.

O índice Kappa, de acordo com a interpretação terrestre indica que 64% do que foi analisado corresponde à realidade, ao comparar o existente em campo com o mapa. Esse índice, considerado alto em um mapeamento com uma classe tematicamente muito ampla, como era a classe campo natural e outros sem mudança, deve ser analisado em conjunto com os índices de cada tema mapeado (Tabela 10).

As classes de degradação representaram mudanças na cobertura da terra que estão associadas com a perda da cobertura vegetal sendo a intensidade de mudança refletida pela intensidade da radiometria. Por exemplo, uma mudança caracterizada pela substituição da cobertura florestal por solo exposto será associado a uma degradação forte. Noutro sentido, mudanças caracterizadas por um aumento da cobertura vegetal como conversão de pasto degradado à plantação, serão associados a uma recuperação forte.

Quirino (2005), aplicaram a técnica RCEN, utilizando imagens Landsat TM dos anos de 1999 e 2004, da região leste da Floresta Nacional do Tapajós-PA, tendo concluído que há um potencial significativo deste método em termos de acurácia e simplicidade. Foram obtidos, pelas estimativas do índice de exatidão global e do coeficiente Kappa, valores de 0,84 e 0,77, respectivamente, sendo que a acurácia da classificação foi muito boa.

Quanto aos erros de inclusão e omissão, pode-se dizer que, tomando-se como base a primeira classe, floresta natural sem mudança, obteve-se um erro de inclusão de 33,3%, quando foram incluídas as classes 2, 3 e 12 (floresta plantada sem mudança, agropecuária sem mudança e campo natural e outros sem mudança), e um erro de omissão de 12,5%, ao serem excluídos dois pontos como sendo as classes 3 e 5 (agropecuária sem mudança e floresta natural para floresta plantada).

6. CONCLUSÕES

Detectaram-se mudanças no uso e cobertura da terra que ocorreram no período entre 1980 e 2009, onde com a utilização de fotoimagens de 1980 e ortoimagens de 2000 elaborou-se mapas de uso e cobertura da terra. Entre 1980 e 2000 observou-se mudanças na área da classe Floresta Plantada.

A premissa com relação às fotoimagens de 1980 deveria ter sido sua retificação individual e em seguida sua mosaicagem, como o ocorrido com as ortoimagens de 2000, entretanto o passo seguido foi sua mosaicagem e posterior georreferenciamento.

A quantificação extraída dos mapas de uso e cobertura da terra entre os anos de 1980 e 2000, através das ortoimagens e fotoimagens, quando comparadas entre si, foi satisfatória. Já na realização do mapa de dinâmica entre os mesmos anos, através da técnica de detecção por comparação pós-classificação, nas determinações das áreas, não foram adequadas devido à existência de erros geométricos no mosaico do primeiro período, justamente pelo fato da não retificação individual dessas fotoimagens.

Na sequência da pesquisa foram utilizadas imagens de satélite dos anos de 2001 e 2009, as quais foram georreferenciadas com base nas ortoimagens digitais do ano de 2000. A técnica utilizada foi a RCEN, pois se trata de uma técnica simples na detecção de mudanças não dispensando muito tempo de processamento quando comparada com a interpretação visual no monitor do computador.

O mapa de uso e cobertura da terra de 2000 foi reamostrado para 30 metros, igualando a resolução espacial das imagens de satélite. Utilizou-se a técnica de detecção de mudanças RCEN na elaboração do mapa das mudanças 2001-2009. Em seguida houve o cruzamento do mapa de uso e cobertura da terra de 2000 com este mapa das mudanças, resultando no mapa da dinâmica do uso e cobertura 2009.

Para validação do desempenho da classificação temática do mapa de detecção, necessitou-se trabalho de campo para a coleta de pontos amostrais, cujos resultados, através dos cálculos de acurácia pela matriz de confusão e análise Kappa, foi tido como muito bom. Desta forma, para o período de 2001 e 2009 as classes Floresta Natural e Floresta Plantada sofreram redução em área.

A técnica RCEN exige um trabalho de supervisão de campo para justamente identificar áreas que sejam consideradas duvidosas, ou seja, para as classes que apresentam confusão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, I.I., et. al., *Mapping land use-land cover and change detection in Kafur Local Government, Katsina, Nigeria (1995-2008) using remote sensing and GIS. Research journal of environmental and Earth Sciences* 2(1): 6-12, 2010.

ACHARYA, R. *Comparison of change detection techniques in Chitwan district of Nepal.* IFA – International Institute of Geo-information Science and Earth Observation. 2002.

ALMEIDA FILHO, R., et. al., *Evaluation of multitemporal JERS-1 SAR images as an operational mean to monitor deforestation in the Amazonia.* Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiania, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4371-4378.

DISPERATI, A. A., et. al., **Fotografias aéreas de pequeno formato: Aplicações Ambientais.** Guarapuava. Ed. Unicentro, 2007.

ANDERSON, L. O., et. al., Utilização de dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento da cobertura e uso da terra. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3443-3450.

BATISTA, G.; **Introdução ao sensoriamento remoto e geoprocessamento.** Departamento de Agronomia, Universidade de Taubaté-SP, 2003.

BEGON, M.; et. al., *Ecology – individuals, populations and communities.* 3. painos. Blackwell Science. 1996.

BITENCOURT, L.R. e LOCH, C.: O uso das Séries Históricas de Fotografias Aéreas para Monitoramento Físico-Espacial de Propriedades Rurais Visando a Avaliação da Legalidade das Posses. In: III COBRAC - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Anais, Florianópolis, Brasil 1998.

BISHOP, Y. et. al.; *Discrete multivariate analysis: theory and practice.* Cambridge, MIT Press, 1975.

BORGES, R. O., Métodos e técnicas de registro de imagens SAR/SIPAM a partir de dados orbitais ópticos e sensores SAR/SIPAM. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4819-4826.

BRASIL – EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Comunicado Técnico 11. Campinas-SP, dez 2003.

BRASIL – IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística., Web. Disponível em www.ibge.gov.br em: 17 mai 2009.

BRASIL – INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Manual de Georreferenciamento de Imóveis Rurais. Web: www.incra.gov.br, em fev 2010.

BRASIL – INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais., Web. Disponível em www.inpe.br. Acesso em: 16 jun 2008; 14 mai 2010.

BRASIL - Minerais do Paraná – Mineropar, web, em <http://www.mineropar.pr.gov.br/>. Acesso em: 12 jan 2006.

BRASIL – Normas Técnicas da Cartografia Nacional – Decreto nº. 89.817 de 20 de junho de 1984. web em http://www.mundogeo.com/seminarios/qualidade/arquivos/dieter_lubeck.pdf, acessado em 23/03/2011.

BRASIL – Universidade Federal do Espírito Santo – Departamento de Geografia – Geomática, 2010.

BRASIL – Universidade Federal de Goiás – Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. SEMARH, SIAD, Goiás, 2005.

BRASIL – Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Educação Superior Norte – RS – Departamento de Engenharia Florestal – Geomática, 2010.

BRASIL – Universidade de Taubaté – Apostila introdutória de sensoriamento remoto. Departamento de Agronomia. Departamento de Ciências Agrárias, 2003.

BRASIL – Web: Fonte: http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/pr/htm0/pr28_58.htm. Acessado em 10 out 2009.

CANTY, M. J., *Image analysis, classification and change detection in remote sensing*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2007.

CARRILHO, J. M. Z. F. **Detecção de mudanças da cobertura do terreno em uma região de cerrado**. 1996. 130 p. (INPE-5979-TDI/575). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1996. Disponível em:<<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.20.06.39>>. Acesso em: 20 out. 2010.

CARVALHO JUNIOR, O. A., et. al., Mistura espectral de imagens Landsat para análise multitemporal de uso da terra nas diferentes unidades pedológicas da bacia do rio Jardim, DF. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiania, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 557-564.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; SILVA, N. C., Detecção de mudança espectral uma nova metodologia para análise de séries temporais. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5635-5641.

CENTENO, J. A. S.; **Sensoriamento remoto**. UFPR, Curitiba-PR, 2007.

CHAVEZ, P. S., et. al.; *Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic*. Photogrammetric engineering and remote sensing, v. 57, n. 3, p. 295-303, 1991.

CONGALTON, R.G. **A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data**. Remote Sensing of Environment, v.37, n.1, p.35-41, Jan 1991.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practice**. Mapping sciences series. New York: CRC Press Inc., 1999. 98p.

CORAZZA, R.; PEREIRA FILHO, W. **Emprego de chaves de interpretação para a identificação de elementos geográficos sobre imagens de satélite Ikonos por alunos em diferentes estágios de desenvolvimento cognitivo.** Santa Maria, RS, Brasil. 2007. P.2. II.

CORTE, A. P. D., et al.; **Inventários florestais: Planejamento e execução.** Curitiba: Multi-Graphic e Editora, 2006. 271 p.: il.

CHOPIN, P., et. al.; *Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. I. J. Remote Sensing*, 10 may 2004, vol. 25, n 09. 1565-1596.

CHUVIECO, E.: *Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones RIALP.* Cap. 7: *Tratamiento digital de imágenes: II. Generación de información temática. Madrid (España)*, 1996.

CHUVIECO, E.: *El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios.* In: **Revista de Teledetección**, No. 10, Diciembre 1998, p: 39-48.

CROSTA, A. P., **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas-SP. Editora Unicamp. 1992. 170 p.

DANI et. al., Emprego da Fotogrametria digital no mapeamento da área Antártica especialmente gerenciada na Baía do Almirantado. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto2005. Goiânia, Brasil. p. 1191-1198. 16-21 abril 2005.

DISPERATI, A. A., **Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato.** Curitiba:UFPR, FUPEF, 1991.

DISPERATI, A. A. et. al. ; **Fotografias aéreas de pequeno formato: aplicações ambientais.** Guarapuava – Irati – PR – Brasil. Ed. Unicentro, 2007.

DUARTE, C. C. et. al.; Detecção de mudanças na cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Tapacura-PE através da análise por componentes principais. In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Nata, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5765-5772.

ENVI – *Environment for Visualization Images.* Guia do ENVI em Português. SulSoft. Versão atualizada 05/2007. Web, disponível em: www.sulsoft.com.br. Acessado em 15 mai 2008.

ESCADA, M. I. S.; **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para o planejamento de espaços livres urbanos de uso coletivo.** Dissertação de mestrado em sensoriamento remoto. INPE, São José dos Campos, 2003.

ESPIRITO-SANTO, F. D. B. e SHIMABUKURO, Y. E., Validação do mapeamento de uma área de floresta tropical com uso de imagens de videografia aérea e dados de levantamento de campo. **Revista Árvore, Sociedade de Investigações Florestais**, vol. 29, n. 002. marco-abril 2005

FERREIRA, L. G.; **Sensoriamento remoto aplicado a ciência ambiental.** Simarh, SIAD. Goiás-GO, 2005.

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

FOLEY, J. A., et. al., *Global consequences of land use*. July 2005, vol. 309, Web. www.sciencemag.org, Acessado em: abril 2010.

FRANÇA, D. A., **Mudança do uso da cobertura da terra no Vale do Paraíba e vizinhança e seus impactos na circulação atmosférica local**. Dissertação de mestrado do curso de pós-graduação em sensoriamento remoto. Ministério da Ciência e Tecnologia, INPE, São José dos Campos - SP, 2007. INPE-14598-TDI/1198.

FRANÇA, D. A., FERREIRA, N. J., FREITAS, S. R., Detecção de mudanças do uso e cobertura da terra em São Jose dos Campos – SP e vizinhanças e avaliação dos seus impactos no clima local. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3905-3912.

FRAU, C. M., et. al.; *Caracterizacion y monitoreo de paisaje semiárida en la region del Maule mediante datos satelitales*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.14, n.06. p. 660-668. Campina Grande-PB, 2010.

FURQUIM, M. P. O., et. al., **Ortofotocartas digitais e geoprocessamento de rodovias**. ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A. Curitiba, Brasil. Web em: www.esteio.com.br. 2010.

GALVÃO, F., et. al., A formação das paisagens paranaenses. **Revista Floresta**, FUPEF, Curitiba, 2008.

GOMES, M. P. et. al., Sistema automático de detecção de desmatamento para o Estado de Goiás a partir de imagens índice de vegetação MODIS. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3025-3027.

GONÇALVES, D. A. et. al., Fotografias aéreas de pequeno formato aplicadas na identificação, quantificação e planejamento de recuperação de áreas de preservação permanente. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2185-2190.

GPS TRACKMAKER – Guia de referência. Web em:www.gpstm.com.br. Acessado em 23 fev 10.

GRAÇA, P. M. L. A. **Monitoramento e caracterização de áreas submetidas à exploração florestal na amazônia por técnicas de detecção de mudanças**. 2004. 275 p. (INPE-13644-TDI/1046). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004. Disponível: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2005/02.15.16.02>>. Acesso em: 20 out. 2010.

GRACIANI, S. D.; LOCH, R. E. N.; Análise multitemporal de imagens de sensoriamento remoto para monitoramento da qualidade da água em áreas de mineração de carvão. Congresso Brasileiro de cadastro técnico Multifinalitário. UFSC, Florianópolis-SC, 15 a 19 out. 2000.

HARALICK, R. M.; Shanmugam, K.; Dinstein, I. *Textural features for image classification. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, v. SMC-3, n. 6, p. 610-621, 1973.

HARALICK, R. M. *Statistical and structural approaches to texture. Proceedings of the IEEE*, v. 67, n. 5, p. 786-804, 1979.

JENSEN, J. R.; **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parentese, 2009. 604 p. il.

JENSEN, J. R.; *Photogrammetric engineering & remote sensing*. Memorial Adress: John Edward Estes, 2008.

JENSEN, J. R.; *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. 2ª Ed., Upper saddle river: Prentice-Hall, 2007. 592 p.

JORGE, L. A. B., SARTORI, M. S.; **Uso do solo e análise temporal da ocorrência de vegetação natural na fazenda experimental Edgardia, em Botucatu-SP**. R. Arvore, Vicosa-MG, v.26, n.5, p. 585-592, 2002.

KAMPEL, M., et. al., Imagens CCD/CBERS e TM/Landsat para análise multitemporal de manguezais no nordeste brasileiro. Um estudo no litoral do Estado do Ceará. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 979-986.

KHORRAM, S., et. al., *Accuracy assesment of remote sensing-derived change detection*. Bethesda, Maryland-USA, 1999.

LANDIS, J. R. e KOCH, G. G.; *The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics*. Vol. 33, n. 1, p. 159-174 – 1977.

LILLESAND, T. M.; KIEFFER, R. W., *Remote sensing and image interpretation*. 2. Ed. Chinchester: John Wiley and Sons, 1994, 750 p.

LIMA, Z. M. C., et. al., Utilização de imagens TM/Landsat 5 como ferramenta no mapeamento de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 5, n. 3, Campina Grande, Brasil, set/dez 2001.

LOCH, C., **Cadastro técnico multifinalitário**. UFSC-Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis-SC. 2000.

MALDONADO, F. D., **Análise por componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba-PE**. Dissertação de mestrado do curso de pós-graduação em sensoriamento remoto. Ministério da Ciência e Tecnologia, INPE, São José dos Campos - SP, 1999.

MALDONADO, F. D. et. al.; *Land Use Dynamics in the semi arid region of Brazil (Quixada-PE): Characterization by principal components analysis (PCA)*. Universidad Nacional de San Juan-UNSJ, San Juan-Argentina.2002

MALDONADO, F. D. et. al.; *Change detection technique based on the radiometric rotation controlled by no-change axis, applied on a semi arid landscape. International Journal of Remote Sensing*. Vol. 28, n. 8, 20 abril 2007, 1789-1804.

MALDONADO, F. D., e SANTOS, J. R., Metodologia de detecção de câmbios utilizando técnicas de rotação radiométrica. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 601-608.

MARCHETTI, D. A. B. e GARCIA, G. J., **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu-UNESP. 1ª. Edição-2ª. Reimpressão. Livraria Nobel S.A.São Paulo-SP. 1982.

MARTINS, L. M. et. al., Monitorização da doença da tinta do castanheiro usando fotografia aérea de pequeno formato e métodos geoestatísticos. In: Seminário em Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados a Engenharia Florestal. 476-483. 2008. Curitiba. Anais do VII Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados a Engenharia Florestal, Curitiba, editado por Attilio Antonio Disperati e João Roberto dos Santos, 2008. p. 476-483.

MAS, J.F.; Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v.20, n.1, p.139-152, Jan 1999.

MATHER, P. M., Computer processing of remotely-sensed images. An introduction. Chichester: Wiley, 1999. 292 p.

MESQUITA JR, H. N.; BITENCOURT, M. D.; Análise de diferença de fase entre dados multitemporais de índice de vegetação e climáticos. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 625-632. Minerais do Paraná – Mineropar, web, em <http://www.mineropar.pr.gov.br/>. Acesso em: 12 jan 2006.

MIURA, A. K. et. al., Detecção de mudanças no uso das terras no município de Pelotas (RS, Brasil), no período de 1985 a 2007, por meio de processamento digital de imagens. In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5997-6004.

MORAES, P. A.; **Acurácia das métricas de mensuração do risco operacional propostas pelo Banco Central do Brasil: uma investigação em cooperativas de crédito**. Fucape, Vitória-ES, 2008.

MOREIRA, A. A., **Utilização de algoritmos de classificação para o mapeamento do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG, a partir de uma imagem do sensor Ikonos II**. UFV-MG, 2008.

NOVO, E. M. L. M.; **Sensoriamento remoto: princípios e aplicação**. São José dos Campos: Edgard Blücher. 1988.

OLSON, D. M. et al.; *Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth*. Bio Science. Vol.51, n. 11, Nov 2001.

PANTOJA, N. V. et. al., Detecção de mudanças a partir de imagens TM/Landsat na Amazônia sul ocidental. In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6037-6044.

PETTA, R. A. et. al., **Detecção automática da dinâmica da cobertura da terra por sensoriamento remoto**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2003.

PONZONI, F. J., **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2007. il.

PORFIRIO, G. C.; BOGGIONE, G. A.; Avaliação de métodos de classificação em ortofotocartas digitais para identificação do uso e ocupação do solo. In: Anais do XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiania, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4259-4264.

Prefeitura Municipal de Balsa Nova. Web. Disponível em <http://www.encantosdebalsanova.com.br/>. Acesso em: 10 mar 2009.

QUIRINO, V. F., et. al., Técnica de rotação radiométrica de imagens landsat tm como ferramenta de detecção de mudanças da paisagem na amazonia. In: IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas – IV CBCG, Curitiba, 16-20 maio 2005.

REIS, L. N. G.; BRITO, J. L. S. Mapeamento das áreas ocupadas com cana-de-açúcar na região do triângulo mineiro em Alto Paranaíba-MG. In: IX Encontro Interno & XIII Seminário de Iniciação Científica. 1-9. 2007. Uberlândia-MG. 2007.

ROGERIO, A. P., et. al., Caracterização do uso e ocupação do solo da região estuarina de Areia Branca/RN, com base na interpretação de produtos de sensoriamento remoto multitemporais. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3277-3284.

SANTOS, A. F.; CARDOSO, L. G., Caracterização da vegetação florestal na microbacia do Ribeirão do Faxinal, através do uso de fotografias aéreas. In: Seminário em Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados a Engenharia Florestal. 203-209. 2008. Curitiba.

SANTOS, A. R.; **Geomática aplicada a gestão de recursos hídricos**. LGU-UFES. Espírito Santo-ES, 2010.

SANTOS, J. R., et. al., Integração de imagens Landsat/ETM+ e CBERS-2/CCD para detecção de mudanças em área da Amazônia sob domínio da floresta de transição. IN: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1655-1662.

SANTOS, R. P.; BAYAMA, A. P.; Sensoriamento remoto aplicado a análise temporal das feições de cerrado na reserva ecológica do IBGE. In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6173-6180.

SESTINI, M. F., ET. al., Detecção de mudanças com técnica de Rotação Radiométrica – RCEN, inovações para uma abordagem pratica usando SPRING. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1433-1440.

SILVA, A. A.; **Monitoramento ambiental em áreas de cerrado a partir de dados de sensoriamento remoto**. Universidade Estadual de Goiás. Itapuranga-GO, 2005.

SILVA, P. G., **Deteção de mudanças em áreas florestais tropicais sob exploração madeireira através da técnica análise do vetor de mudança**. Dissertação de mestrado do curso de pós-graduação em sensoriamento remoto. Ministério da Ciência e Tecnologia, INPE, São José dos Campos - SP, 2004. INPE-11581-TDI/961.

SINGH, A., *Digital change detection techniques using remotely-sensed data*. **International Journal of remote Sensing**. V. 10, n. 6, p. 989-1003, 1989.

SOUZA, G. H. B., **Otimização de processos semi-automáticos da deteção de alterações aplicados ao cadastro imobiliário**. Dissertação de mestrado do curso de pós-graduação em ciências cartográficas. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente – SP, 2007.

SOMMER, J. A. P. **Análise temporal para deteção de mudanças no uso e cobertura do solo dos Campos de Cima da Serra-RS com o uso de imagens multiespectrais do sistema Landsat**. Porto Alegre-RS. 2007.

SPOHR, R. B.; Introdução a geomática – Fotogrametria. Departamento de Engenharia Florestal, Centro de Educação Superior Norte. UFSM, Santa Maria-RS, 2010.

STORY, M.; CONGALTON, R. G. *Accuracy assessment: a user's perspective*. Photogrammetric engineering and remote sensing. 1986.

SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Web. Disponível em www.suderhsa.pr.gov.br. Acesso em: 21 jan 2009.

TANAJURA, E. L. X., et. al., Avaliação de índices de vegetação para a discriminação de alvos agrícolas em imagens de satélites. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 301-307.

TUCKER, C. J. et. al.; *African land-cover classification using satellite data*. Science, Washington, 227 (4685): 369-375. 1985.

UGARTE, H. F. et. al.; *Monitoring wylesien lasow deszczowych Amazonii na podstawie radiometrycznych przetworzen zdjec satelitarnych*. Sylwan, n. 7, 3-8, 2008.

VALERIO FILHO, M., et. al., Análise temporal do crescimento urbano em áreas de risco a erosão com o suporte das geotecnologias. Anais do XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiania, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3927-3933.

VELOSO, H. P., et. al., **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro, Brasil. 1991.

VENÂNCIO, D. L.; **Mapeamento de Araucaria angustifolia utilizando DGPS e imagem de satélite Quickbird-2**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati-PR, 2009.

VIEIRA, T. G. C., et. al., **Uso de geotecnologias na avaliação espaço-temporal das principais regiões cafeeiras de Minas Gerais**. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 313-320.

WEISMILLER, R. A. et. al.; *Change detection in coastal zone environments. Photogrammetric engineering and remote sensing*. 43:1533-1539. 1977.

WIKIPEDIA, http://en.wikipedia.org/wiki/Aerial_photographic_and_satellite_image_interpretation, em 27 jul 10.

ZANARDI, R. P., et. al., Análise de processamento e georreferenciamento em imagens do satélite CBERS-1. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1149-1156.