

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA FLORESTAL**

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO DA TERRA E
COBERTURA FLORESTAL COM DADOS DOS
SATÉLITES LANDSAT E ALOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Daniela Ricalde Torres

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO DA TERRA E
COBERTURA FLORESTAL COM DADOS DOS SATÉLITES
LANDSAT E ALOS**

Daniela Ricalde Torres

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO DA TERRA E
COBERTURA FLORESTAL COM DADOS DOS SATÉLITES
LANDSAT E ALOS**

elaborada por
Daniela Ricalde Torres

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Rudiney Soares Pereira, Dr.
(Presidente/Orientador)

Christel Lingnau, Dra. (UFPR)

Solon Jonas Longhi, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 29 de julho de 2011.

À minha família,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, à Deus, agradeço pela vida, pela saúde e por ter colocado pessoas tão especiais no meu caminho.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rudiney Pereira Soares, pela amizade, confiança e ensinamentos;

À Prof^a. Dr^a. Christel Lingnau e Prof. Dr. Solon Jonas Longhi, pela disponibilidade e contribuição para a minha formação;

Aos colegas do laboratório de Sensoriamento Remoto; em especial à Mariele Furlan, Laura Goergen e Mateus Schuh, pelo apoio, auxílio e amizade;

À Cerlene da Silva Machado (Tita), por me receber sempre com muita simpatia e de sorriso largo na secretaria do PPGEF;

Aos meus pais, pelo amor incondicional, pela dedicação, por acreditarem e apoiarem todos os meus sonhos, por tudo o que sou hoje...

Aos meus irmãos por sempre estarem ao meu lado sendo não só os melhores irmãos que eu poderia querer, mas também os melhores amigos e companheiros para a vida toda... sem eles eu não teria concluído este trabalho.

Minha família, pelo carinho de sempre e pela torcida, principalmente para minha tia Rosália, pelo empenho e disponibilidade para me ajudar;

À Stora Enso Florestal RS, por compreender e apoiar a conclusão deste mestrado, aos colegas de trabalho pelo incentivo, principalmente à minha equipe no Planejamento Florestal, pelo comprometimento e confiança;

Às minhas amigas da Turma da Luluzinha pelo apoio, incentivo, amizade e por fazer meus dias mais felizes;

À galera do "Apê", pela hospedagem e apoio durante o mestrado;

À ATEF 2008, pelos bons momentos que passamos juntos, por tudo que aprendi com vocês,

E a todos que de alguma forma colaboraram para a conclusão deste curso.

*...A lição número um
Eu aprendi com meu pai
Quem não sabe pra onde vai,
Não vai a lugar nenhum...*

(Jayme Caetano Braun e Luiz Marengo)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO DA TERRA E COBERTURA FLORESTAL COM DADOS DOS SATÉLITES LANDSAT E ALOS

AUTORA: DANIELA RICARDE TORRES

ORIENTADOR: PROF. Dr. RUDINEY SOARES PEREIRA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 29 de julho de 2011.

O monitoramento do uso e cobertura da terra faz-se importante no estudo de determinadas regiões, pois auxilia no conhecimento da realidade ambiental e contribui na busca por soluções de problemas que possam se apresentar. A partir do uso de imagens dos satélites, ALOS e LANDSAT, foi realizada esta pesquisa com o objetivo principal de fazer uma análise multitemporal na microbacia do Arroio Grande, região central do Rio Grande do Sul, cujos objetivos específicos foram: Identificar e quantificar as diferentes classes de uso da terra encontradas na microbacia nos períodos de 1987, 1998, 2002, 2005, 2007 e 2009; além de cruzar as informações de uso da terra, evidenciando a cobertura florestal que sofreu alterações no decorrer dos 22 anos de análise. Para tanto, foram utilizados o *software* SPRING 5.1.7 para a classificação supervisionada das imagens, com a adoção do algoritmo classificador *Bhattacharya*, e a análise espacial dos mapas com a programação LEGAL do mesmo aplicativo computacional. Para esta análise, foram observadas as classes de uso do solo: floresta, campo, agricultura, agricultura irrigada, solo exposto e lâmina d'água, nas imagens de cada ano. Estas classes foram empregadas na análise espacial da cobertura florestal em que foram definidos parâmetros para o monitoramento florestal (manutenção florestal, regeneração florestal e desmatamentos). Os principais resultados notados, nesta pesquisa, foram o aumento de 17,98% na cobertura florestal distribuída, principalmente, nas áreas de maiores declividade, e a redução de 16,32% sobre a área de campo. Quanto à análise espacial da cobertura florestal, esta mostrou-se em estabilidade com a paisagem, e em gradual progressão, pois a área de manutenção florestal encontrada, nestes 22 anos, foi de 12.252,60 ha, a regeneração florestal foi de 4.389,12 ha e apenas 1.853,82 ha de área desmatada.

Palavras-chave: Classificação supervisionada, uso da terra, análise espacial, sensoriamento remoto, análise multitemporal, microbacia.

ABSTRACT

Master Course Dissertation
Professional Graduation Program in Forest Engineering
Universidade Federal de Santa Maria

MULTITEMPORAL ANALYSIS OF LAND USE AND FOREST COVERAGE WITH DATA FROM LANDSAT AND ALOS SATELLITES

AUTHOR: DANIELA RICARDE TORRES

ADVISER: PROF. Dr. RUDINEY SOARES PEREIRA

DEFENSE DATE AND PLACE: 29th July, 2011. Santa Maria

The monitoring of the use and coverage is very important when studying determined regions, just because it helps knowing the environmental reality and contributes to solve problems that can probably appear. This research was done from the images of ALOS and LANDSAT satellites. Its main objective was to have a multi-temporal analysis of Arroio Grande micro watershed, central region of Rio Grande do Sul. The specific purposes were to identify and to quantify the different classes of land use found in this micro watershed along the 1987, 1998, 2002, 2005, 2007 and 2009 periods, as well as cross the land use information to show the forest coverage changes during the 22 years of analysis. The software SPRING 5.1.7 was employed to classify the supervised images through Bhattacharya, a sorter algorithm, and the map spatial analysis was done through the Spatial Language of Algebraic Geoprocessing program with the same computational application. The classes of land use as forest, field, agriculture, irrigated agriculture, exposed soil and water layer were observed in the images of each year in this analysis. These classes were utilized in the spatial analysis of the forest coverage in which forest monitoring parameters have been defined (forest maintenance and regeneration, deforestation). In this research the principal results that have been noticed were the increase of 17,98% on the distributed forest coverage, mainly in the areas of bigger declination, and the reduction of 16,32% on the field area. The analysis of the spatial forest coverage has presented stability with the landscape, in a gradual progression, because the area of forest maintenance, found in these 22 years, was 12.252,60ha, the forest regeneration was 4.389,12ha and only 1.853,82ha of deforested area.

Key words: Supervised classification, land use, spatial analysis, remote sensing, multi-temporal analysis, micro watershed.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potenciais, aplicações e intervalos espectrais das bandas do LANDSAT.....	28
Tabela 2 – Lista de Imagens utilizadas na pesquisa.	45
Tabela 3 – Quantificação do uso e cobertura da Terra, em hectares e em porcentagem, de março de 1987, outubro de 1998, março de 2002, fevereiro de 2005, abril de 2007 e julho de 2009.....	58
Tabela 4 – Evolução do Uso e Cobertura da Terra para cada período.	59
Tabela 5 – Evolução da Cobertura Florestal nos períodos 1987 a 1998, 1998 a 2002, 2002 a 2005, 2005 a 2007 e 2007 a 2009.	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Representação Vetorial e Matricial de mapas.....	21
Figura 2 –	Localização da microbacia hidrográfica do Arroio Grande.....	34
Figura 3 –	Mapa de Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul.....	35
Figura 4 –	Mapa Geológico da Bacia do Arroio Grande.....	37
Figura 5 –	Mapa de Solos da Microbacia do Arroio Grande.....	38
Figura 6 –	Microbacia hidrográfica do Arroio Grande.....	42
Figura 7 –	Disposição das cenas dos satélites ALOS 18649 e LANDSAT 233/080.	46
Figura 8 –	Distribuição dos Pontos de Controle na georreferência da imagem LANDSAT 5 de 2005.....	48
Figura 9 –	Imagem LANDSAT (1998) segmentação com similaridade 8 e área 12, RGB 534 com contraste.	55
Figura 10 –	Imagem ALOS (2009) segmentação com similaridade 6 e área 10, RGB 342 com contraste.	57
Figura 8 –	Carta-imagem LANDSAT 5 composição RGB 534 da microbacia do Arroio Grande de abril de 2007.	55
Figura 9 –	Apresentação de evolução do uso e cobertura da Terra na Microbacia do Arroio Grande.	61
Figura 10 –	Evolução da cobertura Florestal na Microbacia do Arroio Grande.	56
Figura 11 –	Mapa Clinográfico da Microbacia do Arroio Grande.....	57
Figura 12 –	Evolução da cobertura de campo na Microbacia do Arroio Grande.	57
Figura 13 –	Apresentação de evolução do uso e cobertura da Terra na Microbacia do Arroio Grande.	61
Figura 14 –	Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Microbacia do Arroio Grande em março de 1987.	64
Figura 15 –	Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Microbacia do Arroio Grande em outubro de 1998..	65
Figura 16 –	Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Microbacia do Arroio Grande em março de 2002.	65
Figura 17 –	Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Microbacia do Arroio Grande em fevereiro de 2005	66

Figura 18 – Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Microbacia do Arroio Grande em abril de 2007.	66
Figura 19 – Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Microbacia do Arroio Grande em julho de 2009.....	67
Figura 20 – Evolução da cobertura florestal de 1987 á 1998, 1998 à 2002, 2002 à 2005, 2005 à 2007 e 2007 à 2009.	69
Figura 21 – Evolução Florestal de 1987 a 1998.....	70
Figura 22 – Evolução Florestal de 1998 a 2002.....	71
Figura 23 – Evolução Florestal de 2002 a 2005.....	71
Figura 24 – Evolução Florestal de 2005 a 2007.....	72
Figura 25 – Evolução Florestal de 2007 a 2009.....	73
Figura 26 – Evolução da Cobertura Florestal entre 1987 e 2009.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características das amostras de treinamento utilizadas na classificação supervisionada das imagens.	60
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALOS	– <i>Advanced Land Observing Satellite</i>
APP	– Área de Preservação Permanente
ASF	– <i>Alaska Satellite Facility</i>
AVNIR-2	– <i>Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2</i>
BGR	– <i>Blue, Green, Red</i>
CBERS	– <i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i>
DEM	– <i>Digital Elevation Model</i>
DGI	– Divisão de Geração de Imagens
DPI	– Divisão de Processamento de Imagens
ERTS	– <i>Earth Resources Technological Satellite</i>
ERTS-1	– <i>Earth Resources Technological Satellite-1</i>
ETM ⁺	– <i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
GPS	– <i>Global Position System</i>
ha	– Hectares
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JAXA	– <i>Japan Aerospace Exploration Agency</i>
JERS	– <i>Japanese Earth Resources Satellite</i>
LANDSAT	– <i>Land Remote Sensing Satellite</i>
LEGAL	– Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico
MNT	– Modelo Numérico do Terreno
MSS	– <i>Multispectral Scanner</i>
NASA	– <i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PALSAR	– <i>Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar</i>
PI	– Plano de Informação
PIXEL	– <i>Picture elemento</i>
PRISM	– <i>Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping</i>
RBV	– <i>Return Beam Vidicom</i>
SBCS	– Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIG	– Sistema de Informação Geográfica

SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*
TM – *Thematic Mapper*
UFSM – Universidade Federal de Santa Maria
WGS84 – *World Geodetic System 1984*
 μm – Micrômetro

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A	– Programa em LEGAL para cobertura Florestal no período de 1987 a 1998.....	85
APÊNDICE B	– Programa em LEGAL para cobertura Florestal no período 1998 à 2002.	87
APÊNDICE C	– Programa em LEGAL para cobertura Florestal no período 2002 à 2005	89
APÊNDICE D	– Programa em LEGAL para cobertura Florestal no período 2005 à 2007.	91
APÊNDICE E	– Programa em LEGAL para cobertura Florestal no período 2007 à 2009.	93
APÊNDICE F	– Programa em LEGAL para cobertura Florestal no período 1987 à 2009.	95

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIG)	19
2.2 Sensoriamento Remoto	22
2.2.1 Processamento digital de imagens	24
2.2.2 Satélite LANDSAT	26
2.2.3 Programa <i>ALOS</i>	29
2.3 Análise Multitemporal.....	30
2.4 Bacia Hidrográfica como unidade de estudo	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 Localização da área de estudo	34
3.2 Características físicas da área de estudo	35
3.2.1 Geomorfologia	35
3.2.2 Geologia	36
3.2.3 Solos.....	37
3.2.4 Clima.....	39
3.2.5 Vegetação.....	40
3.2.7 Aspectos Socioeconômicos	42
3.3 Materiais utilizados	45
3.3.1 Materiais Cartográficos	45
3.3.2 Aplicativos computacionais de processamento e análise	46
3.4 Metodologia	47
3.4.1 Georreferenciamento ou Registro das imagens	47
3.4.2 Segmentação das imagens	49
3.4.3 Processamento Digital de imagens	50
3.4.4 Classificação das Imagens	51
3.4.5 Análise LEGAL	52
3.4.6 Elaboração de mapas temáticos.....	53
3.4.6.1 Mapas de Uso da Terra	53
3.4.6.2 Mapas de Evolução da Cobertura Florestal.....	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1 Processamento Digital das imagens.....	55
4.2 Segmentação das Imagens	56
4.3 Classificação Digital.....	57
4.4 Evolução Florestal	67
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
APÊNDICES	84

INTRODUÇÃO

No meio ambiente, todas as ações naturais e antrópicas estão interligadas, como, por exemplo, o uso do solo que exerce influência direta sobre o clima. Ultimamente, as ações antrópicas vêm causando mudanças ambientais em dimensões cada vez maiores, com grandes impactos sobre a biosfera. Entre estas ações, as mudanças no uso e cobertura da terra podem ser citadas como as mais significativas.

A expansão da agropecuária foi um dos grandes responsáveis pelas maiores alterações na cobertura e uso da terra no Brasil. As chamadas “fronteiras agrícolas” estão entre estas mudanças, e se apresentam entre as maiores fontes que incrementaram o desmatamento, transformando áreas nativas em espaço de cultivo agrícola e pecuário. Segundo Egler (2001), o progresso da agricultura e da pecuária nas áreas nativas, sejam elas florestas ou campos, por meio do desmatamento e das queimadas, foram, nos últimos cinquenta anos, os grandes responsáveis pela redução da cobertura original e pelas grandes variações do uso da terra no país.

Estas mudanças na cobertura da terra são necessárias para o desenvolvimento da sociedade e, por isso, a elas estão vinculadas consequências tanto negativas quanto positivas. Assim posto, surge o interesse pelo seu estudo e a busca por informações cartográficas confiáveis, visando a subsidiar a implantação de políticas sócio-ambientais eficientes, no que concerne a minimizar os impactos causados pelo desenvolvimento econômico e social.

O monitoramento do uso e da cobertura da terra é uma tarefa essencial para o conhecimento da realidade ambiental da região estudada e para contribuir na busca de soluções de problemas que possam apresentar-se. Para tanto, deve-se entender que estas análises precisam considerar uma postura científica multidisciplinar, que permita integrar processos físicos, naturais e sociais.

Assim sendo, percebe-se que o auxílio deste tipo de mapeamento temático viabiliza compreender os padrões de organização espacial, com os quais se pode diagnosticar e, até mesmo, prognosticar as mudanças da paisagem e mostrar a distribuição espacial real das diferentes formas de uso dos recursos naturais cada vez mais alterados pelas ações do homem.

O território do Estado do Rio Grande do Sul tem aproximadamente 282 mil km², sob o clima temperado do tipo subtropical, e apresenta cobertura vegetal com algumas regiões muito características que variam de acordo com as épocas do ano, em função da produção florestal, agrícola e pecuária do Estado.

Informações oriundas de sensores remotos unidos ao uso dos Sistemas de Informações Geográficas têm sido muito utilizadas para o mapeamento, o monitoramento e a caracterização, entre outras pesquisas, uma vez que estas ferramentas mostram-se eficientes, rápidas e de baixo custo, comparadas às metodologias tradicionais.

O conhecimento dos padrões de uso e cobertura da terra auxiliam no planejamento das regiões, tendo em vista que, através da identificação de diferentes paisagens e características da terra, é possível prognosticar o incremento de áreas agrícolas, bem como os seus problemas e as soluções, determinando as prioridades para o uso agropecuário.

No referencial bibliográfico desta pesquisa, foi trabalhado o tema Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), no qual foram discutidos conceitos e aplicações; o uso do Sensoriamento Remoto para classificação de imagens, bem como a sua utilização para monitoramento ambiental; um breve comentário sobre os satélites ALOS e LANDSAT; e ainda sobre a utilização de bacias hidrográficas como unidade de estudo.

No presente estudo, foram analisados dados de imagens de multi-sensores para monitorar uma série multitemporal de 22 anos, nos períodos de 1987, 1998, 2002, 2005, 2007 e 2009, na microbacia hidrográfica do Arroio Grande, na microrregião de Santa Maria, região central do Estado do Rio Grande do Sul. Estes dados foram estudados com o auxílio de ferramentas de sensoriamento remoto e SIG, visando à análise espacial de uso e cobertura da terra nas diferentes datas, bem como a evolução da cobertura florestal na microbacia.

Contudo, o objetivo principal deste trabalho foi a classificação digital de imagens multitemporais dos satélites LANDSAT e ALOS na microbacia do Arroio Grande, a fim de melhor entender mudanças no uso e cobertura da terra e monitorar as áreas de floresta, em função da quantificação destas áreas.

Como objetivos específicos do presente estudo têm-se:

1) Identificar e quantificar as diferentes classes de uso da terra encontradas nas imagens dos satélites LANDSAT e ALOS que cobrem a microbacia do Arroio Grande nos períodos de 1987, 1998, 2002, 2005, 2007 e 2009;

2) Cruzar as informações de uso da terra evidenciando a cobertura florestal (manutenção florestal, regeneração florestal e desmatamentos) que sofreram alterações no decorrer dos mesmos períodos.

Através deste trabalho, pode-se disseminar o uso do sensoriamento remoto e SIG's no monitoramento de áreas para os seus diversos usos, pois tal instrumento, apesar de ser uma ferramenta de grande importância e baixo custo ainda é pouco aproveitado pela sociedade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

O Geoprocessamento procura abstrair o mundo real, transferindo ordenadamente as suas informações para o sistema computacional. Esta transferência é feita sobre bases cartográficas, por meio de um sistema de referência apropriado (ROCHA, 2000).

As principais características de um SIG são, segundo Davis e Câmara (2001): a capacidade de inserir e integrar, numa base de dados única, informações espaciais derivadas de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e/ou rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno (MNT). Além disso, oferece ferramentas para combinar as múltiplas informações, através de algoritmos de manipulação e análise, assim como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo dos dados georreferenciados.

Câmara e Medeiros (1998a) definiram que os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) são instrumentos computacionais do geoprocessamento que permitem a realização de análises complexas e ainda tornam possível a automatização da produção de documentos cartográficos.

Silva (2003) resume as definições, comentando que os SIGs são ferramentas que precisam usar meio digital, por esse motivo não podem ser separados da informática, deve existir uma base de dados associada, cujas informações devem estar georreferenciadas e com erro controlado, devendo ser possível a análise destes dados com variáveis cumulativas (operações algébricas) ou não cumulativas (operações lógicas).

Ao analisar as definições apresentadas pelos diferentes autores, pode-se notar que, de maneira geral, os SIG's têm como principal característica o tratamento computacional de dados geográficos.

Em conformidade com Miranda (2005), para mapear e monitorar as mudanças ambientais, bem como ter conhecimento da causa e da consequência delas são necessárias ferramentas que possam capturar e armazenar informações

sobre a existência dos recursos naturais, usando-se a tecnologia espacial disponível, Sensoriamento Remoto e SIG.

O mesmo autor ainda aponta que o SIG pode auxiliar na avaliação de impactos ambientais e simular cenários alternativos, mas ainda é complexo equacionar os problemas ambientais devido à falta de informações disponíveis e algumas restrições em relação aos dados existentes, tais como a falta de precisão, o sistema de amostragem pouco ou nada confiável, as diferentes escalas de trabalho, entre outros (MIRANDA, 2005).

Câmara e Medeiros (1998b) informam que a estrutura geral de um SIG possui os seguintes componentes: interface com o usuário; entrada e relação de dados; consulta, análise espacial e processamento de imagens; visualização e plotagem; e, ainda, armazenamento e recuperação de informações (banco de dados).

Para Rocha (2000), os SIG's são projetados para propiciar que o usuário faça frequentemente avaliações em todas as bases cartográficas e alfanuméricas simultaneamente, sendo capaz de associar informações às entidades gráficas e vice-versa.

Um SIG só será eficiente para extração de informações, se o usuário souber quais são os seus objetivos, quais as informações serão necessárias para cumprilos e como montar corretamente o seu banco de dados. "A montagem de um banco de dados é tarefa crucial e que demanda muito tempo, recursos e pessoal especializado" (SILVA, 2003, p.47).

Silva (2003), ademais, salienta que os objetivos adicionais de um SIG são produzir mapas de forma rápida; minimizar custos dos projetos; elaborar mapas específicos; permitir diversas representações gráficas com o mesmo banco de dados; facilitar o entendimento e a utilização dos mapas; possibilitar automação da finalidade dos mapas e revolucionar a análise quantitativa dos dados espaciais.

Ainda para Rocha (2000), os dados utilizados em SIG podem ser divididos em dois grupos: dados *gráficos, espaciais* ou *geográficos* e dados *não gráficos, alfanuméricos* ou *descritivos*.

Os dados *gráficos* podem ser representados de maneira vetorial ou matricial, sendo a vetorial composta por pontos, linhas e polígonos georreferenciados. Os dados matriciais ou *raster* são compostos por uma matriz de células, associadas a valores que permitem o reconhecimento dos objetos com forma de imagem digital,

sendo os valores destas células ou *pixels* relacionados a números inteiros de zero a 255 que vão definir a cor da imagem. A ilustração a seguir apresenta os formatos matriciais e vetoriais (Figura 1).

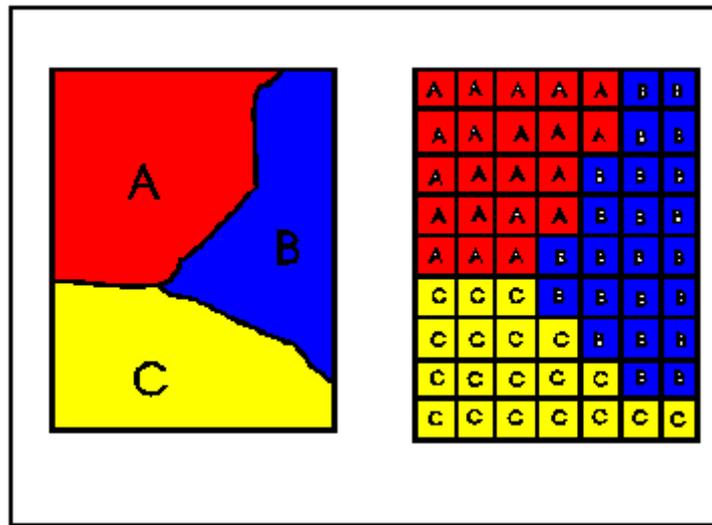


Figura 1 - Representação Vetorial e Matricial de mapas.

Fonte: INPE, 2010. Adaptado pela autora.

Os dados alfanuméricos estão subdivididos em atributos dos dados espaciais e atributos Georreferenciados. Os atributos dos dados Espaciais fornecem informações descritivas sobre um dado espacial e estão ligados a geocódigos (identificadores comuns), armazenados tanto nos registros alfanuméricos, como nos espaciais; enquanto os atributos georreferenciados não descrevem as suas feições, mas, sim, localizam geograficamente (ROCHA, 2000).

Câmara e Medeiros (1998b, p.13) enfatizam que os dados em geoprocessamento podem ser: “mapas temáticos, mapas cadastrais, redes, imagens de sensoriamento remoto e modelos numéricos de terreno (MNT)”.

Os mapas temáticos descrevem quantitativamente a distribuição espacial de grandezas geográficas e podem ser obtidos a partir de levantamento a campo, seguido de digitalização, ou a partir de classificação de imagens. Os mapas cadastrais possuem atributos para cada elemento geográfico e podem associá-lo a

várias representações gráficas; as redes evidenciam que cada objeto possui uma localização geográfica exata e está armazenado num banco de dados (cadastros). Imagens são representadas como matrizes, onde cada elemento é um *pixel*; e, por último, MNT, utilizado para denotar quantitativamente uma grandeza que varia com o espaço, comumente associado à altimetria.

2.2 Sensoriamento Remoto

Conforme Rocha (2000), o Sensoriamento Remoto pode ser definido como a aplicação de dispositivos que, colocados em aeronaves ou satélites, nos permitem obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra, sem contato físico com eles.

Novo (2008) define Sensoriamento Remoto como sendo a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.

Um conceito mais simples para entender e, ao mesmo tempo, bastante completo é descrito por Jensen (2009), segundo o qual o Sensoriamento Remoto é a arte e a ciência de obter informações sobre um objeto sem estar em contato físico direto com o objeto. O autor ainda registra que esta ferramenta pode ser usada para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas na Terra.

O Sensoriamento Remoto pode ser considerado como uma significativa ferramenta, uma vez que as fotos aéreas e imagens tomadas a partir de radares ou satélites retratam o espaço terrestre e a sua evolução (MIRANDOLA, 2006).

Assim, pode-se afirmar que Sensoriamento Remoto é a aquisição de informações a propósito de um objeto sem o contato direto sobre o mesmo, a partir da utilização de sensores.

Em consonância com Novo (2008), pode-se dividir o Sensoriamento Remoto em dois sistemas, o primeiro, de aquisição de dados e o segundo, de Produção de Informações. Enquanto o primeiro refere-se ao satélite, fonte de radiação, sensor e estação de recepção e processamento de dados; o segundo refere-se à calibragem dos dados, processamento das imagens e geoprocessamento.

Rocha (2000) destaca que os sensores existentes são basicamente os sensores fotográficos, de radar, laser, espectrômetros e radiômetros:

- **Sensores de Radar** transmitem um pulso de micro-ondas em direção a um alvo, recebem de volta uma parte do pulso que já interagiu com o alvo (energia retro espalhada) e registram a potência. O radar ilumina a superfície em ângulo oblíquo, realçando rugosidade e textura da superfície. Estes sensores independem da luminosidade solar, conseguem trabalhar sobre nuvens devido ao seu comprimento de onda (5,6 cm). O Canadense RADARSAT e o Japonês JERS são exemplos destes sensores.

- **Sensores a Laser** diferenciam-se dos sensores de Radar por não serem imageadores. Eles utilizam, como capacidade de medida, a luminescência, propriedade de algumas substâncias de devolver radiação de maior comprimento de onda do que o da radiação incidente. O resultado deste sistema é um perfil do caminho imageado. Contudo, tais sensores são de uso restrito devido ao seu pulso muito elevado que pode prejudicar a visão de animais e pessoas.

- **Espectrômetros** são capazes de medir o conteúdo espectral de um campo eletromagnético, captam processos de radiação gama produzida por elementos naturais, assim são usados para identificar a composição química de objetos. Além disso, podem ser usados para avaliar a extensão de acidentes nucleares.

- **Radiômetros** são sensores que captam diferentes intensidades ou níveis digitais do campo eletromagnético dos objetos, mantendo a resolução espectral e espacial dos mesmos. São utilizados para mapear distribuições de temperaturas.

- Os **sensores fotográficos** tentam reproduzir as características do olho humano, usando dispositivo eletro-ópticos que captam a radiação eletromagnética da superfície, segundo um padrão geométrico regular. Decompõem esta radiação através de prismas, registram as intensidades e diferentes intervalos espectrais. Há necessidade de luz solar, como fonte externa de radiação, classificando-se como

sensores passivos. São exemplos de sensores fotográficos o LANDSAT, CBERS e ALOS.

Em síntese, os sensores são os sistemas responsáveis pela conversão da energia dos objetos em um registro na forma de imagem ou gráfico (NOVO, 2008).

A energia eletromagnética é o meio pelo qual os dados dos objetos são transmitidos ao sensor, transformando-se, através de sua frequência, intensidade e polarização, em informação (ROCHA, 2000).

Independente do tipo do sensor, os produtos de Sensoriamento Remoto apresentam características que devem ser destacadas como, por exemplo, resolução espacial, espectral e radiométrica (NOVO, 2008).

A resolução *espacial* é o menor elemento ou superfície distinguível por um sensor. Desta forma, um sensor com resolução espacial de 30 metros distingue objetos que medem, no terreno, 30 metros ou mais, com equivalência de 900 m² (30m x 30m) (FLORENZANO, 2002).

A resolução *espectral*, por sua vez, é "uma medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno" (NOVO, 2008, p. 60). A largura das bandas é diretamente proporcional à capacidade de discernimento das variações no comportamento espectral do alvo estudado.

Para Rocha (2000), a resolução *radiométrica* refere-se à capacidade do sensor em discernir as variações de sinal ou número de níveis digitais em que a informação está registrada. Quanto maior for a resolução radiométrica, maior será a sensibilidade para distinguir pequenas diferenças de radiação, aumentando o poder de distinção das imagens.

O mesmo autor comenta ainda sobre a resolução *temporal*, que se trata da frequência com que a área de interesse é imageada.

2.2.1 Processamento digital de imagens

Processamento digital de imagens são sistemas destinados à extração de informações a partir de dados de Sensoriamento Remoto (ROCHA, 2000). Esta

técnica possibilita gerar mapas temáticos a partir das informações extraídas das imagens, como mapas de cobertura vegetal e uso do solo.

Conforme Novo (2008), podem-se gerar composições coloridas a partir das imagens digitais com a utilização de diferentes combinações de bandas espectrais, combinações de imagens e de uma mesma banda com datas distintas ou de imagens de diferentes sensores. É importante ressaltar que, ao fazer o processamento digital, a imagem original segue inalterada.

O mesmo autor divide o processamento digital em três etapas: *pré-processamento*, *realce* e *classificação*.

O *Pré-processamento* visa à correção radiométrica e geométrica das imagens para a extração dos dados. Normalmente, estas correções são feitas pelos provedores das imagens.

As técnicas de *realce*, em conformidade com o autor, têm objetivo de aprimorar a visualização da cena. As técnicas de realce mais empregadas são: manipulação de contraste usada para facilitar a diferenciação visual de cenas de baixo contraste; filtragem espacial, que são transformações *pixel a pixel* e dependem dos valores de *pixels* vizinhos e não apenas do *pixel* original; e rotação de imagem, que são rotações lineares e não-lineares dos *pixels* para melhorar a visualização das cenas (BENEDETTI, 2006).

De acordo com Venturieri e Santos (1998), a *Classificação digital de Imagens* consiste em estabelecer um processo de decisão em que se determina uma classe para um grupo de *pixels*. Assim, os *softwares* ajudam o usuário na interpretação das imagens orbitais. Assim sendo, se estabelece uma classe a um grupo de *pixels*, fazendo com que os *pixels* de igual valor tenham a mesma classificação.

Consoante Novo (2008), o fato da aquisição de informações das imagens digitais com auxílio de computadores ser chamado de análise quantitativa, dá-se pelo uso das suas propriedades numéricas.

Os métodos de classificação podem ser agrupados em função de possuírem ou não uma fase de treinamento, em que o usuário interage com o computador. Estes métodos podem ser: classificação não-supervisionada, classificação supervisionada e classificação híbrida (VENTURIERI e SANTOS, 1998).

Os autores em questão, além disso, citam que a Classificação não-supervisionada consiste no fato de que o algoritmo classificador define as classes baseando-se na estatística pré-estabelecida. Para este método, não é necessário o conhecimento prévio das classes existentes, pois o próprio *software* estratifica-as com base nos *pixels* da imagem, em um processo que se assemelha à segmentação de imagens.

A classificação supervisionada baseia-se na hipótese de que cada classe espectral pode ser descrita a partir de amostras indicadas pelo analista. Para isso, o usuário precisa ter um conhecimento prévio das áreas que espera trabalhar (NOVO, 2008).

A quantidade de amostras de treinamento selecionadas deve refletir a variabilidade de cada categoria presente na área estudada, não existindo um número ideal de amostras para cada classe (VENTURIERI e SANTOS, 1998). Já Richards (1993) indica que se use o mínimo de $(N + 1)$ amostras por classe, sendo N o número de bandas que integram a imagem usada na classificação.

Segundo Oliveira et al. (2011), classificações geradas pelos algoritmos de classificação, como o *Bhattacharya*, que precisam da segmentação das imagens antes da classificação, suprimindo os *pixels* isolados, originaram imagens temáticas com qualidades visuais muito superiores.

O algoritmo *Bhattacharya*, baseado em contexto de regiões (segmentação da imagem), mede a distância média entre as distribuições de probabilidade de classes espectrais (banda) e usa também, como critério de decisão, a matriz de covariância (OLIVEIRA et al., 2011).

2.2.2 Satélite LANDSAT

Em 1967, a NASA (*National Aeronautics e Space Administration*), com o apoio do Ministério do Interior Americano, iniciou o programa denominado *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS), cujo principal objetivo era fazer o mapeamento multiespectral em alta resolução da superfície da Terra. Os sensores mais importantes deste programa foram os de varredura multiespectral *Landsat*

Multispectral Scanners e os mapeadores temáticos *Landsat Thematic Mappers* (JENSEN, 2009).

O LANDSAT é o sistema de satélites de observação terrestre mais antigo dos Estados Unidos e, conforme Rocha (2000), colocado em órbita em 1972, ainda chamado ERTS-1 (*Earth Resources Technological Satellite-1*). O referido sistema apresentou um desempenho tão significativo que, a partir de 1975, foi rebatizado e transformou-se na série LANDSAT.

Os sete satélites da série LANDSAT foram lançados pela NASA com intervalo de três a quatro anos. Embora tenham sido construídos para ter uma vida útil de dois anos mantiveram-se em operação por muito mais tempo, como é o caso do LANDSAT 5, que opera desde 1984 e está ativo até hoje (NOVO, 2008).

O primeiro satélite da série, o ERTS-1, foi lançado como sistema experimental em 23 de julho de 1972 e rebatizado como LANDSAT 1 em 1978. O segundo satélite, o ERTS-B, lançado em 22 de janeiro de 1975, foi batizado como LANDSAT 2. Dando seguimento a este sistema de nomenclatura, todos foram nomeados desta maneira. Em cinco de março de 1978, entrou em órbita o LANDSAT 3; em 16 de julho de 1982, o LANDSAT 4; em 1º de março de 1984 foi lançado o LANDSAT 5. Em cinco de outubro de 1993, o LANDSAT 6 falhou ao ser colocado em órbita, e o último satélite da série, o LANDSAT 7, foi lançado em 15 de abril de 1999 (JENSEN, 2009).

As três primeiras missões da série LANDSAT (LANDSAT 1, 2 e 3) levavam a bordo dois tipos de sensores, o subsistema de câmaras de televisão *Return Beam Vidicom* (RBV) que permite observar a cena imageada instantaneamente e um sistema de varredura MSS (*Multispectral Scanner*), que opera em quatro canais (dois no visível próximo e dois no infravermelho próximo), com resolução espacial de 30 metros (NOVO, 2008).

O LANDSAT 4 e 5 diferem dos anteriores por apresentar, além do sensor MSS, o sensor TM (*Thematic Mapper*), que é um sensor óptico mecânico e registra dados em sete bandas espectrais: três, na regiões do visível; um, no infravermelho próximo; dois, no infravermelho médio e um, no infravermelho termal, com resolução espacial de 30 metros exceto para o termal, de 120 metros. As informações das faixas espectrais para cada banda deste satélite, bem como as suas potenciais aplicações, foram definidas por Rocha (2000) e estão descritas na tabela 1.

Tabela 1 – Potenciais, aplicações e intervalos espectrais das bandas do LANDSAT.

Banda	Intervalo μm	Principais Características e Aplicações das Bandas do LANDSAT
1	0,45 - 0,52	Apresenta grande penetração em corpos d'água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade à fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	0,52 - 0,60	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
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 e aquelas sem vegetação (exemplo: solo-exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (exemplo: campo cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento de 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 - 0,9	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). 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 Pinus e Eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (exemplo: 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.
6	10,40 - 12,5	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	2,08 - 2,35	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidroterminal.

Fonte: Rocha, 2000.

O LANDSAT 6 foi declarado perdido em 1993, logo após o seu lançamento, pois não conseguiu atingir a sua órbita (FLORENZANO, 2002). Por fim, o último satélite da série LANDSAT, o LANDSAT 7 evoluiu para o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) que opera de forma idêntica ao TM, diferindo apenas pelo

acréscimo de uma banda pancromática e o aumento de ganho na banda termal. Apresentando resolução espacial de 60 metros na banda termal e de 15 metros na pancromática, esta última oferece resolução espectral de 0,52 – 0,90 μm .

2.2.3 Programa ALOS

A empresa japonesa Jaxa (*Japan Aerospace Exploration Agency*) lançou, em janeiro de 2006, o satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), que começou a fornecer dados ao público 10 meses depois de entrar em órbita. Este satélite foi construído para ter uma vida útil de três a cinco anos e possui uma resolução temporal de 46 dias.

O ALOS é um satélite de média resolução espacial, possui três sensores, AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*), PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) e PALSAR (*Phased Arraytype L-band Synthetic Aperture Radar*).

O sensor PRISM possui uma banda pancromática de comprimento de onda entre 0,52 a 0,77 μm , resolução espacial de 2,5 metros, possui três telescópios que possibilitam a “formação de um *triplet*, ou seja, três imagens estereoscópicas superpostas de 35 km de largura sem que seja necessária varredura mecânica ou movimentação do satélite” (NOVO, 2008, p.195). Este sensor é utilizado principalmente na cartografia, construção de MNT/DEM para mapeamentos temáticos variados, além de simulações 3D.

O sensor PALSAR é um sensor de microondas e opera na banda L, possui abertura sintética com resoluções espaciais variáveis, 10 a 100 metros, possui três modos de aquisição de imagens: fino, ScanSAR e Polarimétrico. Seu produto é indicado para estudos geológicos, principalmente no imageamento em regiões de densa cobertura de nuvens, entre outros.

O AVNIR-2 é adotado em mapeamentos temáticos em escalas de até 1:50.000, principalmente em mapeamentos de uso e cobertura da terra e monitoramento ambiental, de modo especial em regiões litorâneas e terras continentais. Possui quatro bandas (três, na faixa do visível e uma, na faixa do

infravermelho), com resolução espacial de 10 metros. Quanto às resoluções espectrais, a banda 1 vai de 0,42 a 0,5 μm , a banda 2 de 0,52 a 0,60 μm , a banda 3 varia de 0,62 a 0,69 μm , e a banda 4 infravermelho vai de 0,76 a 0,89 μm .

2.3 Análise Multitemporal

Conforme Carvalho Júnior et al. (2005), os estudos de análise temporal permitem o acompanhamento sazonal da superfície da Terra como, por exemplo, o monitoramento da evolução dos desmatamentos, crescimento urbano, monitoramento agrícola, entre outras aplicações.

Através da utilização de imagens de satélite, obtém-se a análise multitemporal, que permite explorar mudanças transcorridas na área analisada, apresentadas sob o formato de um mapa (BENEDETTI, 2010). A obtenção destes mapas temporais da cobertura da terra nos permite identificar a dinâmica da paisagem, bem como avaliar os rumos tomados pela sociedade no que diz respeito ao crescimento econômico e à exploração dos recursos naturais.

Para Júnior e Almeida (2010), a utilização da técnica de sensoriamento remoto é de grande importância para o monitoramento dos remanescentes florestais, visando sua manutenção através de planos governamentais embasados por estudos ambientais e geoinformações. A análise multitemporal da cobertura dos solos contribui para o entendimento do histórico de evolução da paisagem de uma determinada área, além de fornecer suporte para propostas de manejo da mesma.

Segundo Briassoulis (2000), o termo “mudança de uso da terra” significa transformações quantitativas na área, sendo acréscimo ou decréscimo de uma determinada classe de uso do solo.

Assim, pode-se entender que Análise temporal é o estudo de cenas de imagens de satélite, de mesmos locais, em diferentes períodos, visando avaliar as mudanças da paisagem apresentadas durante o tempo do estudo.

Alguns estudos realizados abordando análise multitemporal (podem ser assim resumidos) são citados como exemplo:

Carvalho Júnior et al. (2005) utilizaram cenas do satélite LANDSAT para o mapeamento temporal do uso e cobertura da Terra do município de Teutônia, RS. Utilizaram 4 séries temporais empregando a classificação supervisionada. Como resultados deste trabalho, os autores salientaram que as florestas aumentaram 80%, enquanto que áreas de uso agropecuário diminuíram 32,61%.

Menkeet al. (2009) efetuaram uma análise multitemporal com imagens dos satélites ALOS e LANDSAT, visando detectar mudanças no uso da Terra no município de Luis Eduardo Magalhães (BA). Nesta pesquisa, utilizaram técnicas de classificação por interpretação visual; para avaliar as diferenças entre as imagens, utilizaram o método de detecção de mudança de pós-classificação. Como resultados, observaram que, durante os 20 anos compreendidos na análise, cerca de 40% das áreas de cerrado foram convertidos em agropecuária.

Bacheget al. (2009) estudaram a análise multitemporal na Bacia do Rio Negro, MS, com objetivo de avaliar a variação da cobertura do solo, com imagens de satélite TM / LANDSAT 5 dos anos de 1985 e 2007. Para tanto, utilizaram a classificação automática supervisionada. Verificaram a redução das áreas florestais e um aumento significativo nas de campo e atividades antrópicas.

Moreira et al. (2005) pesquisaram uma série temporal com imagens do satélite CBERS-2, de 1989 e 2002, do Parque Nacional das Emas em Goiás. O objetivo do trabalho foi analisar a área desmatada para cada município nesta área e a conclusão foi que o maior responsável pela modificação da paisagem é a atividade agrícola da região.

Junior e Almeida (2010), realizaram uma análise multitemporal no município de Bonito, PA, utilizando interpretação de imagens do satélite LANDSAT TM 5, para identificar o uso e ocupação do solo e a variação da paisagem, nos anos de 1984, 1996 e 2008. Para tanto, usaram a classificação não-supervisionada, com método Isodata. Encontraram uma grande fragilidade ambiental na região, pois a vegetação florestal diminuiu consideravelmente na região, dando lugar à agropecuária.

2.4 Bacia Hidrográfica como unidade de estudo

Os recursos hídricos, devido ao consumo indiscriminado, são, atualmente, considerados escassos (REBOUÇAS, 2004) e a sua disponibilidade diminui cada vez mais, principalmente nos grandes centros urbanos e nas regiões áridas. Em consequência, crescem os prejuízos causados à economia dos setores primários e ao ecossistema, como os problemas provocados pelo uso industrial, doméstico e agrícola, tanto pela captação, quanto pela poluição destes recursos.

Uma bacia hidrográfica é considerada uma unidade fisiográfica, limitada por divisores de água ou divisores topográficos, que arrecada a precipitação pluviométrica e atua como um reservatório de água e sedimentos. Estes divisores separam a drenagem da precipitação entre duas bacias adjacentes. Desta forma, Lima e Zakia (2006) especificam que:

Uma bacia hidrográfica coleta a precipitação que cai sobre sua superfície e conduz parte desta água para o rio através do escoamento superficial e do fluxo de água subterrânea. Os solos e a vegetação influenciam na velocidade com que essa água alcança o rio. A litologia determina a textura do solo que, por sua vez, controla a capacidade de estocar água para comunidades vegetais. A estrutura geológica define a morfologia da bacia e, com isso, controla os processos de erosão e lixiviação, além do potencial de produtividade da área. Tempo é um fator decisivo no intemperismo das rochas e na erosão que determina escarpas e, conseqüentemente, o gradiente do rio. A natureza do substrato do rio é fortemente influenciada pela paisagem e pelo estágio dos processos erosivos. O rio é, portanto, produto integrado à bacia hidrográfica. (LIMA e ZAKIA, 2006, p.46).

Sendo assim, Lima e Zakia (2006) referem-se à bacia hidrográfica como uma unidade integrada, entre todos os elementos presentes neste espaço físico, que vêm a gerar o equilíbrio ambiental. Na visão de Tucci et al. (1995), bacia hidrográfica é como uma unidade composta por vertentes de uma rede de drenagem constituída por cursos d'água que se unem em um único ponto, denominado ponto exutório, por onde escoam toda carga hídrica da bacia.

Lima e Zakia (2006) consideram que a bacia hidrográfica define a área de captação do escoamento superficial que alimenta um sistema aquático, assim, qualquer ponto da superfície terrestre faz parte de uma bacia hidrográfica e, desta forma, não pode ser considerada de forma pontual, mas como um todo.

A Política Nacional de Recursos Hídricos apresenta a Bacia Hidrográfica como unidade de gestão de recursos hídricos. No Art. 1º, inciso V, da Lei Nº 9.433/97, "a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos" (MMA, 2008).

Vitte e Guerra (2004, p.157) sublinham a falta de distinção entre os termos bacia e microbacia hidrográfica, ressaltando o próprio Decreto de Lei nº 94.076, de cinco de março de 1987, que estabelece o Programa Nacional de Microbacia Hidrográfica e define bacia hidrográfica como "uma área drenada por um curso d'água e seus afluentes, a montante de uma determinada seção transversal, para a qual convergem as águas que drenam a área considerada", não fazendo menção ao tamanho da bacia.

Costa (2000) considera, por sua vez, que, para utilizar esta unidade, é necessário primeiro conhecer as suas características físicas. Para isso, o uso do Sensoriamento Remoto pode auxiliar na determinação espacial das bacias hidrográficas, com o nível de detalhamento exigido nos projetos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

Este estudo foi realizado na microbacia hidrográfica do Arroio Grande, afluente do Rio Vacacaí Mirim, presente na região central do Rio Grande do Sul, Brasil. Trata-se de uma área de 35.326,75 hectares, situada entre as coordenadas geográficas 29°29'20" e 29°43'25" de latitude sul e 53°33'47" e 53°48'12" de longitude oeste, estando inserida nos municípios Itaara, Silveira Martins e Santa Maria.

A figura 2 a seguir, evidencia a localização da área de estudo.

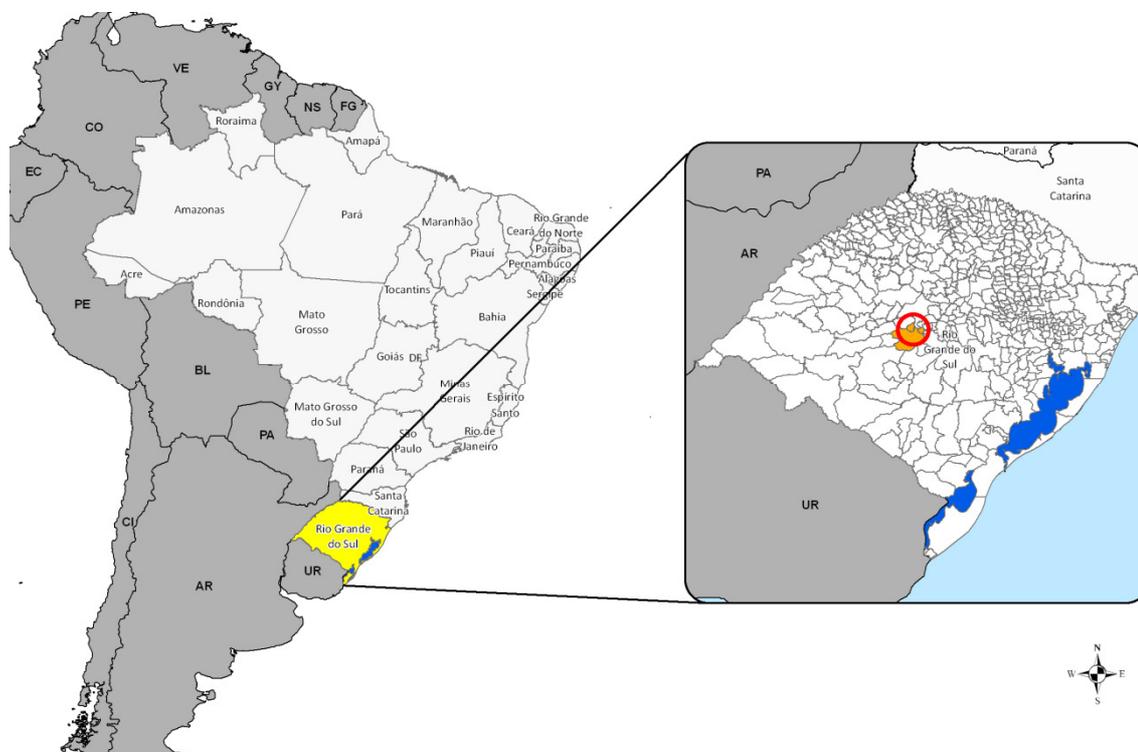


Figura 2 - Localização da microbacia hidrográfica do Arroio Grande.

3.2 Características físicas da área de estudo

3.2.1 Geomorfologia

A microbacia hidrográfica do Arroio Grande está inserida na Depressão Central Gaúcha (BRENA e LONGHI, 2002), uma área que não apresenta grandes variedades altimétricas, sendo dominada por várzeas e coxilhas. Este modelo de relevo está relacionado ao processo erosivo dos rios Jacuí e Vacacaí, no sentido oeste-leste e dos rios Santa Maria, Ibicuí da Armada e Negro no sentido sul para norte e do rio Ibicuí-Mirim de leste para oeste.

A Depressão Central está situada ao centro do Estado sendo formada por rochas sedimentares, originando um extenso corredor que liga o Rio Grande do Sul de oeste ao leste, através de terrenos de declividade variada (SEPLAG, 2008). A figura 3, na sequência, apresenta o mapa de Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul.

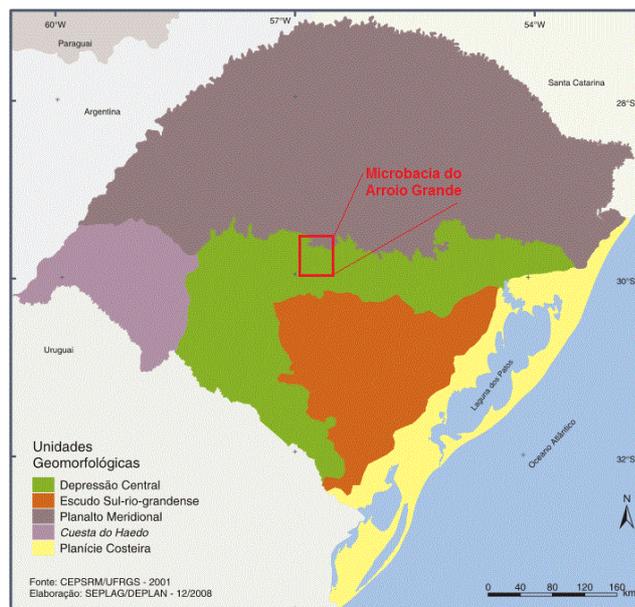


Figura 3 - Mapa de Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul.

Fonte: SEPLAG, 2008. Adaptado pela autora.

3.2.2 Geologia

O Rio Grande do Sul possui uma grande variedade de solos, característica da ampla diversidade de fatores como vegetação, hidrografia, clima, relevo, responsáveis pela transformação da rocha em solo (PORTO, 1983), o qual reúne minerais, matéria orgânica, água, ar e organismos vivos, de modo que serve de sustentação e fonte de nutrição para plantas terrestres. Sendo assim, é no solo que está “alicerçada” grande parte da economia gaúcha, no que se refere aos setores agrícola, florestal e pecuarista.

Ruhoff (2004) assevera que a microbacia do Arroio Grande possui as seguintes formações geológicas: Formação Aluvionar, Formação Arenito Botucatu, Formação Rosário do Sul, Formação Basalto Serra Geral e Formação Riólito Serra Geral (Figura 4). Estas formações estão especificadas, a seguir, conforme Streck et al. (2008):

- a) Aluvionar: Constituída por areia e cascalho, apresenta granulação grosseira a média, encontra-se principalmente na planície de inundação da bacia do rio Santa Maria e Ibicuí;
- b) Arenito Botucatu: É formada por depósitos de areia eólicos. Os grânulos são de areia fina, arredondados, seleção de regular a boa. Apresenta coloração vermelha, amarelo-clara e rósea;
- c) Rosário do Sul: Esta formação é caracterizada pela presença de rochas sedimentares pertencentes à bacia do Paraná. Também é constituída por arenitos e siltitos, ocasionalmente argilosos. Apresenta cores vermelha, castanho-avermelhada, cinza-amarelo e branca;
- d) Basalto Serra Geral: Característica das áreas montanhosas, esta formação é originada a partir de formações vulcânicas. Devido à sua origem, nesta formação, são notáveis as paisagens diversificadas, formadas naturalmente por cânions, coxilhas e vales;
- e) Riolito Serra Geral: Possui comportamento semelhante ao Basalto Serra Geral.

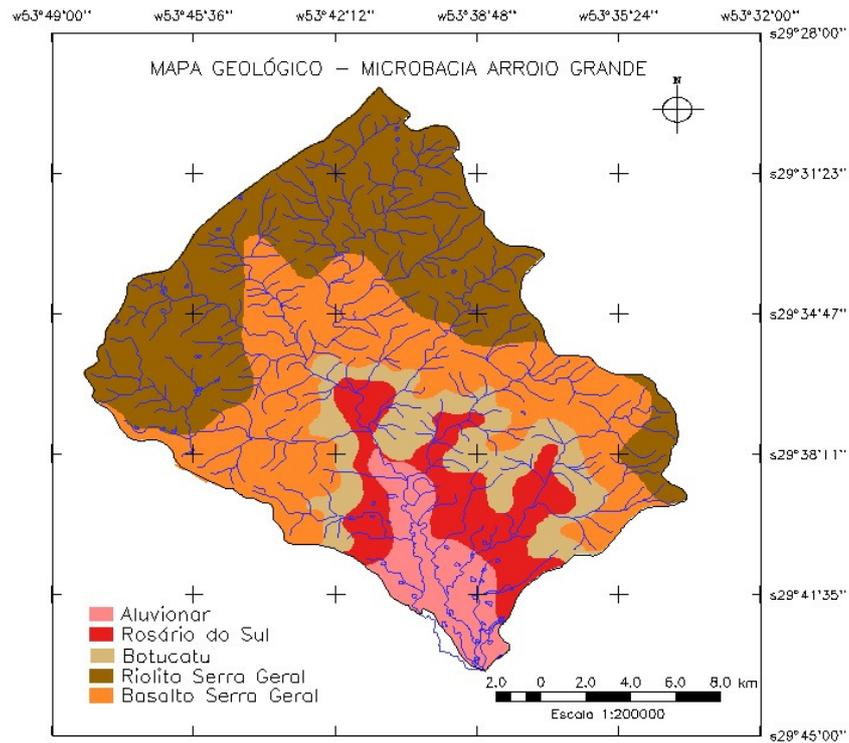


Figura 4 – Mapa Geológico da Bacia do Arroio Grande.

Fonte: Ruhoff, 2004. Adaptado pela autora.

3.2.3 Solos

Streck et al. (2008) assinalam que, na área da microbacia hidrográfica do Arroio Grande, foco deste estudo, são encontrados os seguintes tipos de solos: Alissolo, Argissolo, Chernossolo, Neossolo e Planossolo (Figura 5).

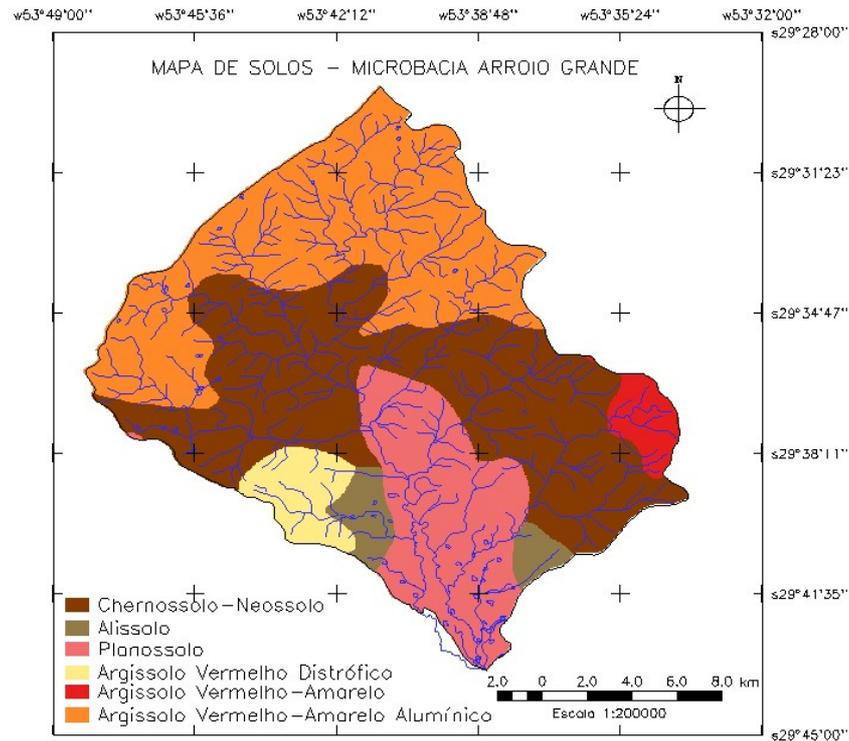


Figura 5 – Mapa de Solos da Microbacia do Arroio Grande.

Fonte: Ruhoff, 2004. Adaptado pela autora.

Os Argissolos são solos de drenagem variada, desde forte a imperfeitamente drenados, sua profundidade é variável, possui cores avermelhadas ou amareladas e raramente também apresentam cores brunadas ou acinzentadas (EMBRAPA, 1999). Segundo Streck et al. (2008), são originários de diversos tipos de rocha, como basalto, arenitos, argilitos, granitos e siltitos. Incidem, geralmente, em relevo suave até fortemente ondulado, ocupando grande parte da área territorial do Rio Grande do Sul.

Os Chernossolos são formados sob condições de clima muito variáveis e originados de diferentes materiais (EMBRAPA, 1999). Conforme explicam Streck et al. (2008), são solos rasos a profundos, apresentam razoáveis teores de matéria orgânica o que lhes confere cores escuras e alta fertilidade química.

De acordo com a Embrapa (1999), os Planossolos são solos mal drenados que apresentam cores pouco vivas, acinzentados ou escurecidos. Em sua região de abrangência, pode-se observar áreas de várzea, de relevo plano a suavemente ondulado. Streck et al. (2008) esclarecem que os Planossolos são frequentes nas

áreas de várzeas dos rios e lagos, sendo utilizados para cultivo de arroz, já se vão muitas décadas. Aparecem, principalmente, na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, mas também ocorrem em menores proporções em outras regiões.

Os Neossolos apresentam profundidade variada, são de formações muito recentes, cujos materiais de origem são muito diversificados. Este tipo de solo é encontrado em diferentes condições de relevo e drenagem (STRECK et al., 2008). Conforme a Embrapa (1999), os Neossolos são constituídos por material orgânico pouco espesso e de característica resistente ao intemperismo o que pode limitar a evolução destes solos. Eles ocorrem nos mais variados tipos de relevo e são considerados solos de drenagem moderada. Possuem grandes restrições a culturas anuais devido a sua pouca espessura, mas mostram aptidão para plantios florestais e fruticultura.

Alissolos, em geral, ocorrem em relevo suavemente ondulado, ocupado por coxilhas, a sua profundidade é variada, com coloração avermelhada, alaranjada ou brunada e, algumas vezes, heterogêneo, mosqueados destas cores (EMBRAPA, 1999). Estes solos possuem acidez elevada e, por isso, são pouco férteis quimicamente e de elevada toxidez por alumínio para plantas de sistema radicular profundo. Sua maior limitação está relacionada à drenagem imperfeita, que resulta em encharcamento e susceptibilidade à erosão.

3.2.4 Clima

O Rio Grande do Sul possui clima temperado do tipo subtropical, classificado como mesotérmico úmido. Apresenta influência das massas de ar oriundas da região polar e da região tropical continental e Atlântica, que definem as características climáticas do Estado de acordo com o movimento e o encontro destas massas de ar (SEPLAG, 2008).

Segundo Moreno (1961), o clima da região da microbacia-bacia do Arroio Grande é subtropical úmido, do tipo "Cfa", conforme a classificação de Köppen, caracterizado por ter a temperatura do mês mais quente superior a 22°C e a do mês

mais frio entre -3°C e 18°C , com temperatura média anual variando de $17,9^{\circ}\text{C}$ a $19,2^{\circ}\text{C}$.

A pluviosidade média anual varia de 1400 a 1760 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano.

3.2.5 Vegetação

A vegetação da região de estudo pertence, segundo Brena e Longhi (2002), ao tipo fitogeográfico Floresta Estacional Decidual que, com o passar do tempo, foi tomando espaço de campos e matas de pinhais, sendo que esta última permaneceu concentrada nas porções de planalto com altitudes superiores a 500 metros.

A Floresta Estacional Decidual é caracterizada por apresentar uma grande diversidade de estratos, com indivíduos que vão desde espécies herbáceas até árvores de grande porte, com mais de 30 metros de altura.

Nesta região, predominam espécies pertencentes às famílias *Fabaceae*, *Myrtaceae*, *Rutaceae*, *Sapindaceae*, *Meliaceae*, *Solanaceae*, *Celastraceae*, *Euphorbiaceae* e *Salicaceae* (SCIPIONI, 2008). Além destas, foram analisadas também, como mais importantes e representativas, as famílias: *Lauraceae* e *Boraginaceae* (BRENA e LONGHI, 2002).

Os mesmos autores explicitam que as principais espécies arbóreas encontradas na região são: Canela-preta (*Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez), Guajuvira (*Cordia americana* (L.) Gottschling & J.S.Mill.), Canela-guaicá (*Ocotea puberula* (Rich.) Nees), Angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan), Canela-amarela (*Nectandra lanceolata* Nees), Camboatá-vermelho (*Cupania vernalis* Cambess.), Chá-de-bugre (*Casearia sylvestris* Sw.) e Camboatá-branco (*Matayba elaeagnoides* Radlk.). Também é possível encontrar outras espécies menos representativas como: Açóita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart. & Zucc.), Chalchal (*Allophylus edulis* (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.), Grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr.), Branquilha (*Sebastiania commersoniana* (Baill.) L.B.Sm. & Downs), Catiguá (*Trichilia clausenii* C.DC.), Gerivá (*Syagrus*

romanzoffiana (Cham.) Glassman), Canjerana (*Cabrlea canjerana* (Vell.) Mart.), Cabreúva (*Myrocarpus frondosus* Allemão) e Cedro (*Cedrela fissilis* Vell.).

3.2.6 Hidrografia

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2011) o mapa hidrográfico do Rio Grande do Sul é constituído por duas regiões hidrográficas, denominadas, respectivamente, região hidrográfica do Uruguai e região hidrográfica Atlântico Sul.

A região hidrográfica Atlântico Sul, em sua extensão, percorre o litoral de três estados: Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, totalizando 451 municípios. Sua área equivale a 2% do território nacional, sendo composta por duas unidades hidrográficas, Litoral de Santa Catarina e Guaíba.

Uma das maiores e mais importantes bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul é a bacia do rio Jacuí, com área de 71.600 km², correspondente a 83,5% da unidade hidrográfica do Guaíba (FEPAM, 2011). Na área da bacia hidrográfica do Rio Jacuí, predomina o uso intensivo do solo para pecuária e agricultura e ainda, ao norte, o seu recurso hídrico é explorado para fins energéticos, com as Usinas Hidrelétricas Ernestina, Passo Real, Salto do Jacuí, Itaúba e Dona Francisca.

A bacia hidrográfica do Jacuí é composta principalmente pelas áreas de drenagem do Vacacaí, Vacacaí-mirim, Pardo, Taquari, Antas e o próprio Jacuí, entre outras nascentes.

A sub-bacia do rio Vacacaí-Vacacaí Mirim está localizada na Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul. Um dos maiores movimentadores da economia gaúcha é o cultivo do arroz irrigado, que coincide com a época de menor disponibilidade de água, causando o principal conflito de uso da terra na região (PRÓ-GUAÍBA, 2011).

A microbacia hidrográfica do Arroio Grande, foco deste estudo, está inserida na sub-bacia do rio Vacacaí, somando-se à dinâmica hidrográfica do Rio Grande do Sul (Figura 6).

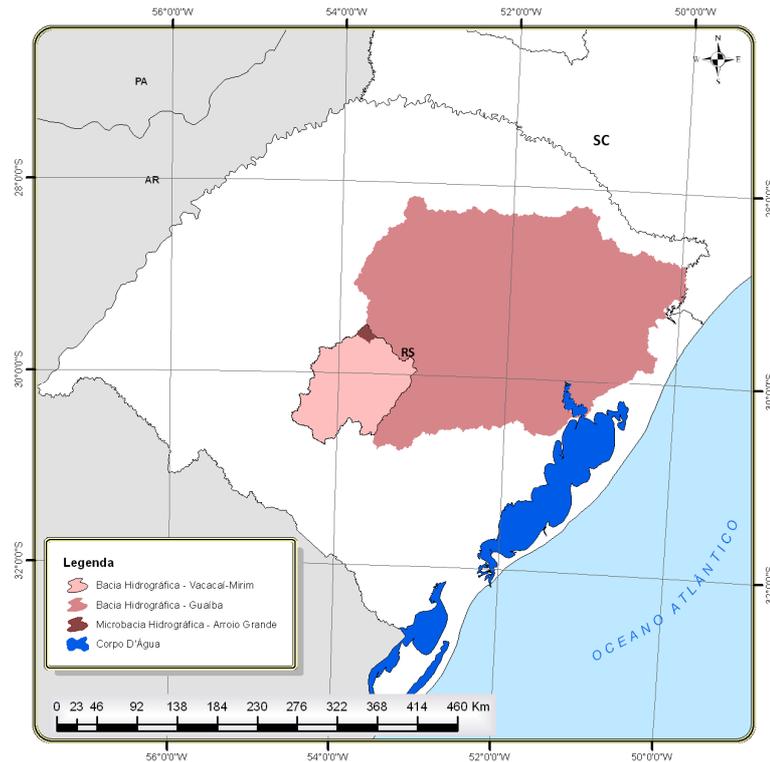


Figura 6 – Microbacia hidrográfica do Arroio Grande.

3.2.7 Aspectos Socioeconômicos

A microbacia do Arroio Grande, objeto deste estudo, está situada na região central do Rio Grande do Sul e inserida em três municípios: Itaara, Silveira Martins e Santa Maria. As informações sobre estes municípios, pesquisadas na página virtual do IBGE (2010), têm como objetivo caracterizar o espaço social e econômico dos municípios de abrangência do estudo.

O município de **Itaara** situa-se na parte norte da região e começou a ser povoado com a construção da antiga Estrada do Pinhal, em 1840, ligando os municípios de Santa Maria e Cruz Alta. Em 1882, a localidade de São José do Pinhal, como era chamado o município de Itaara, foi elevada à condição de Freguesia e seguiu desenvolvendo-se até 1885, quando foi inaugurada a Linha Férrea de Santa Maria a Porto Alegre, o que ocasionou o retrocesso da povoação do Pinhal, que ficou afastada da próxima estação da Linha Férrea (Estação do Pinhal).

O local dessa estação era inviável para a economia local, o que passou a movimentar a estação de Santa Maria, pois era mais propício devido à distância. Também devido a isso, a localidade dividiu-se em Pinhal Velho (em decadência), atual Itaara, e o Pinhal Novo, ainda buscando alcançar o mesmo desenvolvimento que existia na antiga povoação.

A emancipação do Município de Itaara aconteceu em 1995 e, em 1997, foi declarado como município turístico devido a suas potencialidades naturais. A fonte de economia do município é principalmente a agropecuária e o extrativismo mineral, basalto.

O nome “Itaara” tem origem tupi-guarani, o que significa “Pedra Alta ou Altar de Pedra”. O município localiza-se no topo da Serra Geral, com área territorial de 172,4 Km², com altitude máxima de 503 metros e média de aproximadamente 425 metros.

A população do município foi formada por imigrantes e descendentes de alemães, judeus, italianos, portugueses, espanhóis e índios. Em 2000, Itaara tinha 4.578 habitantes e, em 2010, a população era de 5.010 habitantes, representando uma densidade demográfica de 28,96 hab/km².

A história de **Silveira Martins** iniciou em 1875 com a formação da região serrana da Província de São Pedro, atual Rio Grande do Sul, através da vinda de imigrantes italianos com a intenção de povoar a região de São Martinho, dando surgimento a mais uma colônia italiana no Rio Grande do Sul, com objetivo de proteção para a intendência de Santa Maria da Boca do Monte. Esta colônia foi chamada, inicialmente, de Città Nuova, depois passou a ser Città Bianca e, mais tarde, Silveira Martins, homenageando o seu mediador no império Italiano, Gaspar da Silveira Martins.

O município de Silveira Martins foi emancipado de Santa Maria em 1987 e associou-se aos demais municípios da Quarta Colônia: Silveira Martins, Nova Palma, Dona Francisca, Ivorá, Faxinal do Soturno, São João do Polêsine, Agudo, Restinga Seca e Pinhal Grande.

Silveira Martins possui, como base de sua economia, o cultivo de feijão, soja, milho e batatinha, além de atividades turísticas. Em 2010, a população de Silveira Martins era de 2.449 habitantes, sendo 20,86 habitantes por km².

Santa Maria iniciou a sua formação em 1777, quando os reinos da Espanha e de Portugal firmaram o Tratado Preliminar de Restituições Recíprocas, com o objetivo de delimitar os limites de território brasileiro entre os dois países, criando, assim, uma comissão mista hispano-portuguesa que principiou a colonização de Santa Maria.

Após muitas guerras, quando a comissão mista teve fim, criou-se o povoado de Santa Maria. A região apresentava boa posição geográfica e terras propícias aos cultivos agrícolas e pecuários, auxiliando o desenvolvimento do povoado que, em 1812, tornou-se o distrito de Santa Maria da Boca do Monte.

Santa Maria foi firmada com acampamentos militares que intensificaram o povoamento da região. Com o tempo, ainda houve a construção da estação férrea, conhecida como Gari e a vila Belga, habitada pelos funcionários da estação férrea, o que contribuiu para o desenvolvimento da região.

Em 1857, Santa Maria foi promovida a município e, hoje, é composta pelos distritos de Santa Flora, Passo do Verde, Arroio do Só, Pains, São Valentim, Boca do Monte, Santo Antão, Sede, Palma e Arroio Grande.

A vocação econômica do município é voltada, principalmente, para a educação, pois, nela, está localizada a Universidade Federal de Santa Maria e outras universidades particulares, além do grande contingente militar, centro médico, comercial, industrial e rodoviário.

Na zona rural, a economia é voltada para pequenas propriedades com cultivo agrícola e grandes propriedades voltadas à pecuária e à orizicultura.

A população do município, em 2010, era de 261.031 habitantes, 145,98 habitantes por km².

3.3 Materiais utilizados

3.3.1 Materiais Cartográficos

Para a execução deste trabalho, foram utilizadas imagens de satélite de diferentes datas dos satélites LANDSAT 5, LANDSAT 7 e ALOS, discriminadas na tabela 2.

Tabela 2 – Lista de Imagens utilizadas na pesquisa.

Data	Satélite	Sensor	Órbita-Ponto	Resolução Espacial
15/03/1987	LANDSAT 5	TM (<i>Thematic Mapper</i>)	233-080	30m
22/10/1998	LANDSAT 5	TM (<i>Thematic Mapper</i>)	233-080	30m
15/03/2002	LANDSAT 7	ETM+ (<i>Enhanced Thematic Mapper</i>)	233-080	30m
27/02/2005	LANDSAT 5	TM (<i>Thematic Mapper</i>)	233-080	30m
22/04/2007	LANDSAT 5	TM (<i>Thematic Mapper</i>)	233-080	30m
25/07/2009	ALOS	AVNIR 2 (<i>Advanced Visible and Near Infrared Radiometer 2</i>)	18649	10m

As imagens de 1987 e 2002 foram analisadas por Ruhoff (2004) e revisadas neste trabalho. As imagens de 1998, 2005 e 2007 do satélite TM/Landast 5 foram adquirida no *site* do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

A imagem ALOS foi comprada do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por meio do acordo de cooperação científica firmado entre o instituto e a *Alaska Satellite Facility* (ASF), que permitia ao IBGE distribuir imagens ALOS para fins não comerciais no Brasil, entre órgãos do governo e instituições de pesquisa. Como a cena da imagem ALOS cortou uma pequena parte no canto superior da microbacia, foi utilizada uma LANDSAT da mesma época do ano para fazer a quantificação das áreas naquela região.

Optou-se por utilizar a imagem do satélite ALOS por esta apresentar um sensor com melhores características técnicas, principalmente a resolução espacial de 10 metros, e com isso é possível melhor identificar as classes de uso do solo para a época mais atual.

A figura 7 apresenta a localização das cenas dos satélites ALOS e LANDSAT utilizadas neste trabalho.

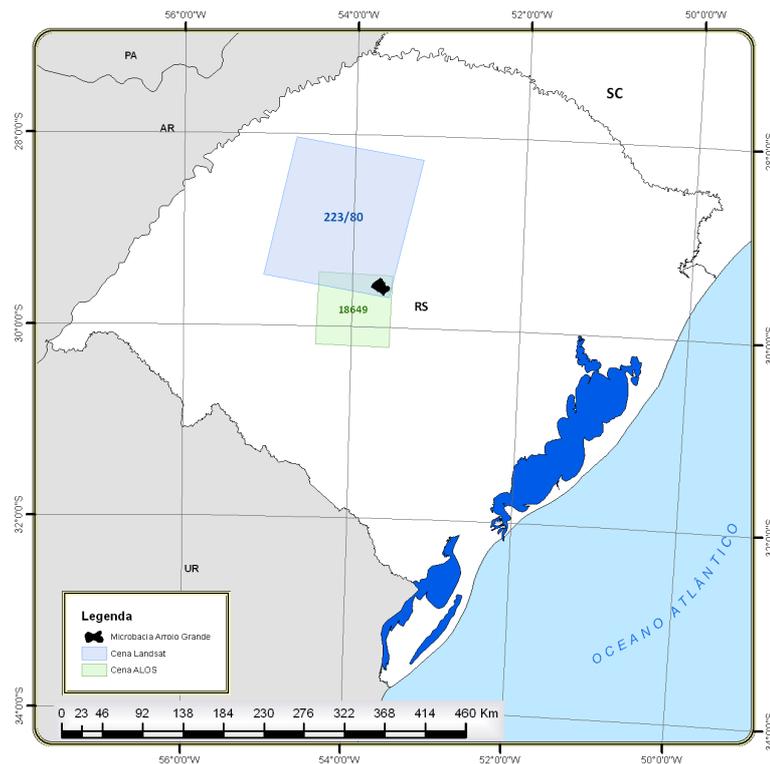


Figura 7 - Disposição das cenas dos satélites ALOS e LANDSAT.

3.3.2 Aplicativos computacionais de processamento e análise

Os *softwares* utilizados na consecução do trabalho de pesquisa, foram os seguintes:

- Sistema Operacional Windows 7.
- SPRING 5.1.7, aplicativo computacional de processamento de Informações Geográficas e os programas acessórios IMPIMA 5.1.7 e SCARTA 5.1.7.
- Office 2010.

3.4 Metodologia

A metodologia adotada para este trabalho foi desenvolvida basicamente considerando-se as seguintes etapas: aquisição e organização da base cartográfica, georreferenciamento, segmentação e classificação digital, quantificação das áreas classificadas, análise em Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) e elaboração dos mapas temáticos.

3.4.1 Georreferenciamento ou Registro das imagens

O georreferenciamento ou registro de uma imagem compreende uma transformação geométrica que relaciona coordenadas da imagem (x, y) com coordenadas de um sistema de referência.

Em consonância com Pirole (2010), uma imagem de satélite pode ser georreferenciada de duas formas: uma é chamada modelo de geometria orbital, que se dá por meio do conhecimento exato dos parâmetros geométricos da órbita do satélite, da rotação da terra e do fator de amostragem do sensor; e a outra, através da definição de pontos de controle comuns na imagem e no mapa ou carta já georreferenciada, ressaltando-se que a precisão deste método depende da precisão dos pontos de controle.

Esta operação de registro faz com que uma imagem ajuste-se perfeitamente a outra, de forma que cada ponto, na imagem, sobreponha-se ao seu correspondente no plano de informação original, conforme preconizado pelo sistema (INPE, 2002).

O processo de georreferência resulta na produção de uma nova imagem, com nova localização e coordenadas que devem acompanhar esta localização (CROSTA, 1992).

Os projetos baseados em SIG utilizam um conjunto de planos de informação sobrepostos em um mesmo sistema de referência, por esta razão o georreferenciamento das imagens é de suma importância para que os projetos, que venham ser desenvolvidos, tenham precisão e coerência.

No presente trabalho, foram empregados aproximadamente 20 pontos de controle em cada imagem, sendo estes bem distribuídos para evitar que alguma região ficasse sem referência, tendo em vista que as transformações tendem a se comportar adequadamente apenas na região onde se encontram os pontos de controle. A figura 8 mostra a distribuição dos pontos de controle da georreferência das imagens.

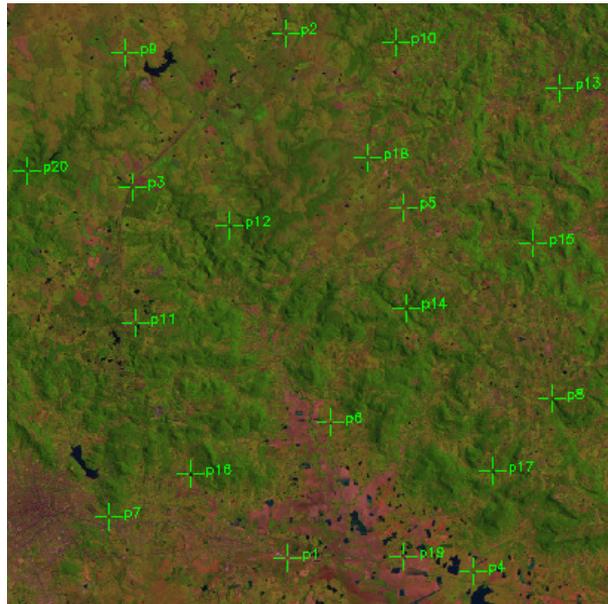


Figura 8 - Distribuição dos Pontos de Controle na georreferência da imagem LANDSAT 5 de 2005.

A imagem de referência, adotada para registrar as novas cenas, foi a imagem LANDSAT 7, de março de 2002 georreferenciada por Ruhoff (2004), utilizando pontos conhecidos e homólogos, como cruzamento de estradas, rios, trevos urbanos, entre outros, que foram visualizados nas imagens com o auxílio da composição falsa cor.

Assim, para sintetizar este procedimento, os passos para georreferenciar as imagens foram os seguintes:

- a) Seleção de 20 pontos visíveis entre a imagem georreferenciada e a imagem de satélite com composição falsa-cor;

- b) Aquisição das coordenadas X e Y, de pontos homólogos em ambos os planos de informação;
- c) Verificação do erro medido em *pixel* da imagem, buscando sempre um erro menor que 1 *pixel*;
- d) Para finalizar foi gerado o arquivo de referência, baseando-se no polinômio cúbico, que faz a interpolação dos *pixels* mais próximos.

3.4.2 Segmentação das imagens

A segmentação de imagem tem como objetivo dividir a imagem em regiões homogêneas para que estas sejam usadas no processo de treinamento do classificador. A precisão da fase de segmentação determina o sucesso ou a falha na classificação da imagem.

A segmentação pode ser efetuada manual ou automaticamente. A segmentação manual é fundamentada no reconhecimento visual das feições presente na imagem e depende da interpretação do analista. O método automático baseia-se nas propriedades espectrais e espaciais da imagem.

Segundo Dlugosz et al. (2008), a segmentação automática apresenta vantagens por se basear em critérios de reconhecimento de similaridade, apresentando assim resultados sempre iguais quando se repete o processo na mesma imagem. Além disso, o autor comenta que a agilidade do modo automático em relação ao manual viabiliza as análises em imagens.

Em geral, a segmentação automática de imagens assenta-se na característica de descontinuidade e similaridade dos tons de cinza de uma imagem, que propõe um agrupamento de regiões, baseado no conceito de região vizinha mais similar, ou seja, a cada iteração, o par mais semelhante de regiões espacialmente adjacente é agrupado (ESPINDOLA, 2007).

O algoritmo de segmentação utilizado é fundamentado no método de crescimento de regiões, cujos parâmetros de entrada são o limiar de similaridade e a dimensão mínima da área. Crescimento de regiões trata-se de uma técnica de

agrupamento de dados, onde cada região possui uma propriedade numérica que a caracteriza.

No método de crescimento de regiões, para que ocorra a união de duas regiões vizinhas é necessário que a diferença do valor do atributo de cada uma seja menor que o limiar de similaridade estipulado, além de que ambas as regiões devem estar mutuamente próximas.

Segundo Moreira (2005), a região pode ser um *pixel* ou um conjunto de *pixels* de acordo com parâmetros espectrais, sendo estes agregados de acordo com os critérios de similaridade e de área, fornecidos pelo analista.

Acrescente-se, neste ponto, que limiar de similaridade é considerado o valor mínimo abaixo do qual, classes são tidas como similares e agrupadas em uma única região, no entanto, se os valores dos limiares forem muito baixos, ocorrerá uma fragmentação excessiva e, ao contrário, se forem muito altos, *pixels* representativos de diferentes classes serão erroneamente agrupados.

Dlugosz et al. (2008) comenta que na maioria das pesquisas brasileiras utilizam o método qualitativo para avaliar a segmentação de imagens, ou seja, julga-se simplesmente a qualidade da segmentação obtida, observando a forma e uniformidade dos segmentos, além da diferença espectral entre as regiões, sem conhecimento da segmentação de referencia.

Assim, nesta pesquisa foram testadas várias combinações no algoritmo para determinar o melhor limiar de similaridade. Os testes foram realizados até que o resultado da segmentação fossem polígonos bem delimitados de cada uma das classes.

3.4.3 Processamento Digital de imagens

Na etapa relativa ao processamento digital das imagens, fizeram-se algumas melhorias na imagem para facilitar o processo de classificação. No processamento, inclui-se o ajuste de contraste para diversas composições coloridas falsa-cor nas diferentes imagens utilizadas, visando a facilitar o reconhecimento das amostras para cada classe.

As composições falsa-cor são feitas associando cada imagem a um canal (RGB), o que foi feito de acordo com a necessidade da amostra para o treinamento na classificação.

3.4.4 Classificação das Imagens

A classificação das imagens consiste em definir uma classe temática para um determinado grupo de *pixels*. Crósta (1992) descreveu a classificação de imagens como a associação de cada *pixel* a uma informação qualitativa (atributo), na qual os valores de nível de cinza são associados à reflectância dos alvos que compõem o terreno.

De acordo com Novo (2008), a classificação supervisionada estabelece um conhecimento prévio do analista sobre a localização espacial de algumas amostras das classes de interesse. Para isso, faz-se a coleta de algumas amostras para que sejam utilizadas como treinamento dos *pixels* e, posteriormente, todos os pixels da imagem sejam agrupados pela sua semelhança.

Para Moreira (2005), a classificação supervisionada envolve duas fases distintas: uma de treinamento e a outra constitui a própria classificação. A fase de treinamento consiste em apresentar, para o sistema, um conjunto de *pixels* representativos de cada classe de ocupação do solo na imagem a ser classificada.

Para fazer a classificação, neste trabalho, foi realizada a coleta de 20 a 30 amostras, dependendo do tema e do ano, baseada no reconhecimento dos padrões de comportamento espectrais das diferentes classes na imagem, como cor, textura e rugosidade de cada alvo.

O algoritmo classificador adotado foi o *Bhattacharya* com aceitação de 99%. O algoritmo *Bhattacharya* é um classificador de regiões e mede a distância média entre as distribuições de probabilidade de classes espectrais.

Moreira et al. (2009) explica que o algoritmo de classificação supervisionada *Bhattacharya* é um algoritmo que necessita de seleção de áreas de treinamento, como polígonos representativos das regiões ou as regiões separadas pelo processo de segmentação. Este algoritmo estima a função densidade de probabilidade das

classes marcadas no treinamento, e para isso utiliza amostras de 5 treinamentos. Assim, analisa em cada região, a distância de *Bhattacharya*, apresentado na Equação 1.

Equação 1

$$B(pi, pj) = \frac{1}{2}(m1 - m2)^T \sum (mi - mj) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\sum (mi - mj)|}{|\sum i|^{1/2} |\sum j|^{1/2}} \quad (1)$$

Onde: B = distância de *Bhattacharya*; *pi* e *pj* = pixels nas classes *i* e *j*; *mi* e *mj* = médias das classes *i* e *j*; *T* = matriz transposta; *ln* = logaritmo neperiano; e *i* e *j* = classes dentro do contexto.

Moreira et al.(2009) pesquisaram diferentes algoritmos de classificação e concluíram que o algoritmo de classificação *Battacharya* foi o que discriminou de forma mais precisa as classes de uso e cobertura da terra.

Assim, as classes temáticas abordadas na pesquisa foram as seguintes: floresta, campo, agricultura, agricultura irrigada, solo exposto e lâmina d'água.

O processo de classificação digital gerou os mapas de uso e cobertura da terra para as seis classes mencionadas, para as novas séries temporais.

3.4.5 Análise LEGAL

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) proporcionam alguns procedimentos de manipulação de mapas para que o usuário possa expressar modelos de análise espacial. Estes procedimentos são denominados Álgebra de Mapas e, usualmente, expressos em linguagens, que permitem ordenar sequências de transformações dos dados geográficos com objetivo de gerar novos mapas a partir dos mapas existentes.

A linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) foi desenvolvida com base no modelo de dados do sistema SPRING, com o objetivo

de permitir a efetivação de análise e simulações de fenômenos reais sobre atributos espaciais e não-espaciais (SILVA, 2003).

Uma programação em LEGAL pode ser escrita em qualquer editor de texto e é executada pelo SPRING por meio de uma interface com o usuário. Esta programação é constituída por sentenças que descrevem uma ou várias ações a serem efetuadas sobre os dados espaciais.

Conforme o Tutorial do Spring, um programa em LEGAL é estruturado em três partes:

- 1) Declaração de variáveis;
- 2) Instanciação de variáveis;
- 3) Operações de álgebra de mapas.

A Declaração de variáveis é empregada para informar o programa sobre as Categorias a serem utilizadas; quanto à Instanciação de variáveis, ela serve para informar o programa sobre os Planos de Informação (PIs) usados e criados durante o processo; e a Operação de álgebra de mapas serve para descrever a operação a ser executada no programa.

Neste trabalho, foram gerados mapas temáticos da evolução da cobertura florestal, evidenciando a Manutenção Florestal, o Desmatamento e a Regeneração entre cada ano e, além disso, na totalidade do período (1987 a 2009).

3.4.6 Elaboração de mapas temáticos

3.4.6.1 Mapas de Uso da Terra

Os mapas de uso e cobertura da Terra foram elaborados a partir das classificações das imagens aos anos de 1987, 1998, 2002, 2005, 2007 e 2009. Para estes mapas foram gerados os seguintes temas: Florestas, Campo, Agricultura, Agricultura Irrigada, Solo Exposto e Lâmina d'água de cada ano.

3.4.6.2 Mapas de Evolução da Cobertura Florestal

Os mapas de cobertura florestal foram gerados a partir dos mapas de uso e cobertura da terra, com base nos cruzamentos destes dados através da programação LEGAL. Para estes mapas, analisaram-se as classes de florestas nos períodos 1987/1998, 1998/2002, 2002/2005, 2005/2007, 2007/2009 e no total da temporada 1987/2009.

Foram estudadas as áreas de floresta inalteradas, a ocorrência de desmatamentos e de regeneração florestal. Para áreas de manutenção florestal, foram usadas as que apresentaram classe floresta em ambas as datas analisadas, início e fim da sequência. Para avaliar o desmatamento, foram utilizadas as áreas que, no início do período, apresentavam floresta e, no final, eram compostos por outras classes (campos, agricultura, agricultura irrigada, solo exposto ou lâmina d'água). E, ao contrário disso, quando outras classes identificadas na data inicial eram convertidas à floresta na data final, considerava-se como regeneração florestal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Processamento Digital das imagens

Para a manipulação e o processamento digital de imagem usou-se o aplicativo computacional Spring, com o objetivo de melhorar o aspecto visual das feições, facilitando a sua interpretação. No desenvolvimento deste trabalho, foram aplicadas técnicas de realce do contraste das cenas, alcançando a composição RGB 5,4,3 para as imagens LANDSAT, também usada na coleta da maior parte das amostras.

Para a imagem do satélite ALOS, foi utilizada a composição falsa cor RGB 3,4,2 pois esta composição apresentou boas características visuais para a diferenciação das amostras. Em alguns casos, para distinguir principalmente floresta, usou-se a composição RGB 4,2,3 e outras composições falsa cor foram utilizadas de maneira isolada em áreas com dificuldade de diferenciação. A representação das composições falsa cor RGB 5,4,3 da imagem LANDSAT adotadas neste trabalho encontram-se nas figuras 9 e 10.

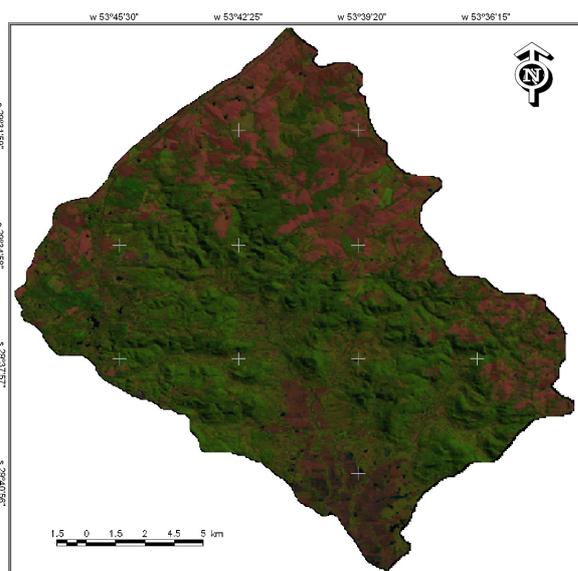


Figura 9 – Imagem LANDSAT 5 composição RGB 534 da microbacia do Arroio Grande de abril de 2007.

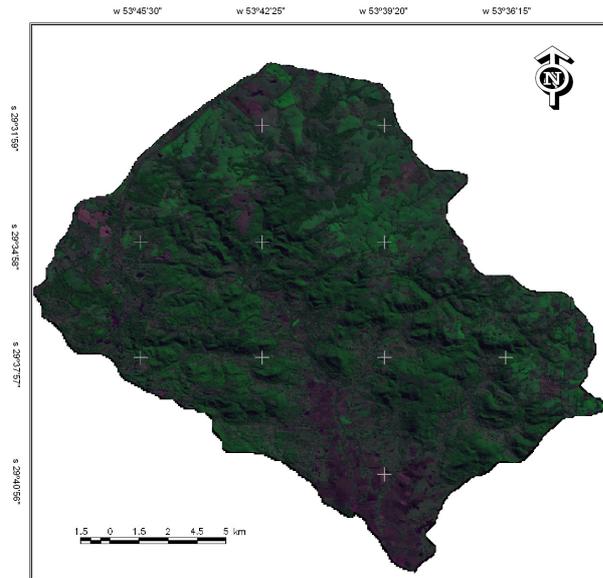


Figura 10 - Imagem ALOS composição RGB 3,4,2 da microbacia do Arroio Grande de julho de 2009.

Frente ao corte da cena da imagem ALOS, percebido na comparação das imagens foi utilizada uma imagem LANDSAT de mesmo período, classificada separadamente e posteriormente mosaicada, junto à classificação da imagem ALOS. Obtendo, assim, o resultado final do ano de 2009.

4.2 Segmentação das Imagens

Foram testados diferentes valores de segmentação para este estudo e adotados, para as imagens LANDSAT, valores de 8 para similaridade e 12 para área, enquanto que, para a imagem ALOS, valores 6 e 10 respectivamente, pois estes apresentaram bom nível de agrupamento das regiões, como é possível observar nas figuras em continuidade (Figura 11 e Figura 12).

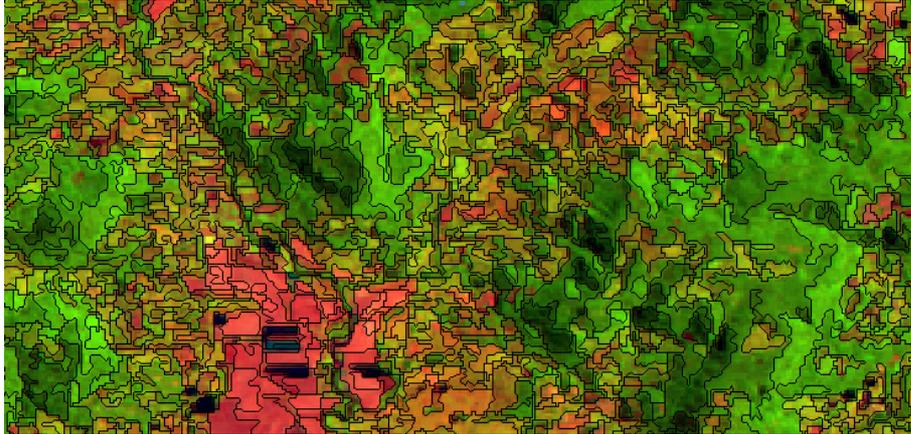


Figura 11 - Imagem LANDSAT (1998) segmentação com similaridade 8 e área 12, RGB 534 com contraste.



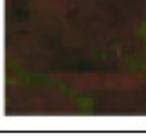
Figura 12 - Imagem ALOS (2009) segmentação com similaridade 6 e área 10, RGB 342 com contraste.

4.3 Classificação Digital

A classificação digital de imagens objetiva substituir a interpretação visual dos dados por técnicas de análise quantitativa, computadas automaticamente, conhecida também como classificação supervisionada. Para o processo de classificação supervisionada das imagens, optou-se pelo algoritmo classificador *Bhattacharya*, além das técnicas de segmentação.

Tabela 4 – Evolução do Uso e Cobertura da Terra para cada período.

CLASSES	1998-1987		2002-1998		2005-2002		2007-2005		2009-2007	
	ha	%	ha	%	Há	%	ha	%	ha	%
Floresta	1.978,74	14,02	-	-2,13	-232,92	-1,48	623,25	4,02	511,65	3,17
Campo	-521,37	-4,01	-	-3,07	-	-	74,25	0,70	180,72	1,69
Agricultura	1.571,76	77,42	96,93	2,69	1.749,60	47,30	-	-79,01	3.627,54	317,25
Agricultura Irrigada	-238,14	-	54,18	3,22	4,41	0,25	36,45	2,09	-483,84	-27,21
Solo Exposto	-	-	590,67	44,67	12,96	0,68	3.564,09	185,05	-	-73,62
Lâmina d'água	2.843,10	68,25	-16,02	-8,45	-64,17	-	7,02	6,42	4.041,81	176,68

Descrição das Classes temáticas	Representação Fotográfica	Amostras utilizadas na classificação supervisionada	
		LANDSAT 5	ALOS
Floresta: representada por todo o tipo de formação arbórea, sejam áreas com formação inicial ou espécies adultas. Pode ser constituída por espécies nativas e florestas implantadas, com espécies exóticas.			
Campo: considerado campos nativos (não antropizados) e áreas de forrageiras, ou seja, pastagem implantada.			
Agricultura: compreendem áreas ocupadas com culturas agrícolas, como por exemplo, soja, milho e batata, de pequenas e grandes propriedades.			
Agricultura irrigada: representada pelas áreas de cultivo de arroz, presentes principalmente ao longo dos cursos d'água, nas várzeas.			
Solo exposto: representado por áreas de preparo de solo para agricultura, plantios recentes de culturas anuais e áreas com ocorrência de processos erosivos.			
Lâmina d'água: compreendem principalmente açudes e barragens, mas também podem aparecer algumas ocorrências de áreas cobertas com água para cultivos orizícolas.			

Quadro 1 - Características das amostras de treinamento utilizadas na classificação supervisionada das imagens.

Ao observarem-se os resultados da tabela anterior e do gráfico mostrado a seguir, é possível perceber que, na Microbacia do Arroio Grande, existe uma situação de estabilidade da paisagem, envolvendo a dinâmica do uso da terra e a manutenção florestal.

A Figura 13, a seguir, apresenta a contribuição de cada uma das classes na área total da microbacia nos períodos de análise.

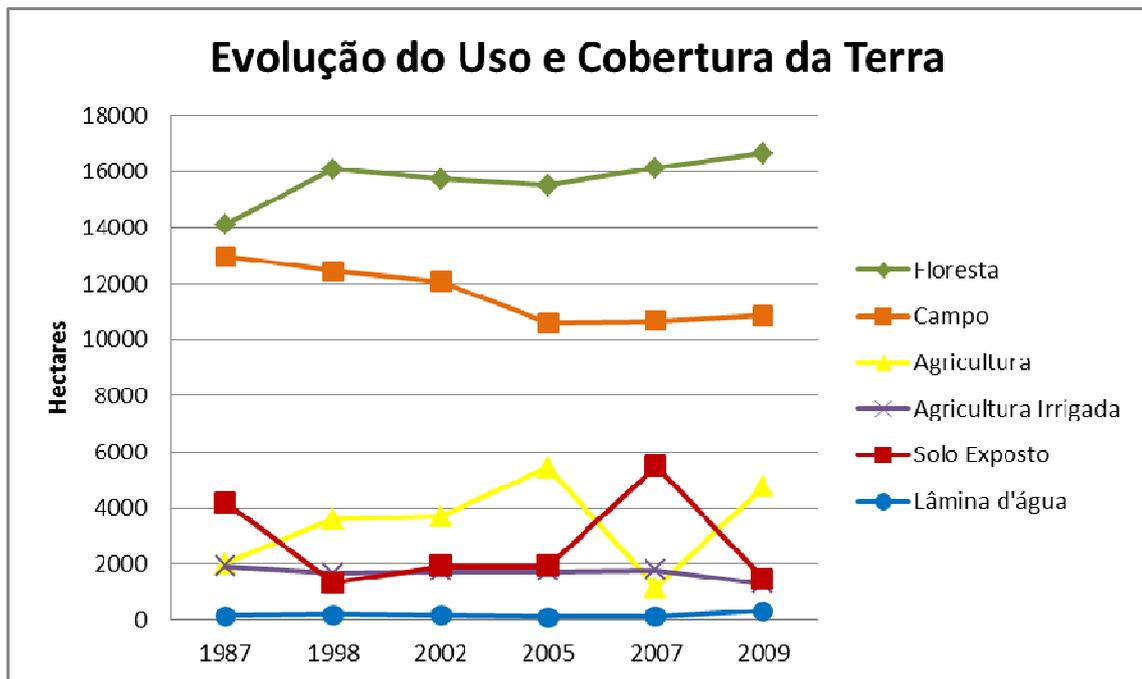


Figura 13 - Apresentação de evolução do uso e cobertura da Terra na Microbacia do Arroio Grande.

Ao examinar o gráfico, pode-se observar que a maior diferença encontrada, no período de março de 1987 a julho de 2009, está nas classes floresta e campo. Na faixa de latitude $29^{\circ}34'58''S$ e $29^{\circ}37'57''S$, conforme pode-se observar nas figuras que seguem, o aumento de área florestada foi mais acentuado, enquanto, ao norte da microbacia, nota-se diferença entre solos agriculturáveis e áreas de campo.

Para a classe Florestas, em março de 1987, existiam 14.113,53 ha na região. Esta área teve um incremento de 14,02%, totalizando 16.092,27 ha em outubro de 1998 e manteve-se praticamente estável, com pequeno decréscimo de -2,13%, em 2002, e -1,48%, em 2005, quando chegou a 15.516,81 ha. A partir desta

data, a regeneração florestal apresentou pequeno, mas progressivo aumento, com um acréscimo de 4,02%, em 2007, e mais 3,17%, em 2009, o que representa 16.651,71 ha de floresta nesta data, ou 47,1% da área total da Microbacia do Arroio Grande.

O avanço da cobertura florestal aconteceu de maneira generalizada e gradativa, exceto nas regiões norte e nordeste do mapa da área estudada, onde estão presentes cultura agrícolas e campo para criação de animais e, ao sul, na região de planície onde se encontram as lavouras de arroz.

Em contraponto ao incremento em áreas de floresta, observou-se a diminuição de campo na região. No início das observações, os campos eram predominantes na porção norte da microbacia e ocupavam 36,73% do território total da área de estudo, sendo muito cultivados no Rio Grande do Sul para a criação de bovinos e ovinos.

Em 1987, existiam 12.985,92 ha de campo na microbacia de estudo, esta classe apresentou contínuo decréscimo até 2005, quando chegou a 10.611,45 ha de campo e, desta data em diante, conservou-se bastante estável, apresentando um pequeno acréscimo de 0,7%, em 2007, e 1,69%, em 2009, totalizando 10.866,42 ha no fim do período de observações, representando 30,74% da área total da microbacia. O maior declínio em área de campo foi verificado entre 2002 e 2005, pois, neste período de três anos, a feição campo diminuiu 12,17%, caindo de 12.081,33 ha para 10.611,45 ha.

Pode-se salientar que grande parte da área, que antes era campo, passou a ser aproveitada para a agricultura, principalmente nas regiões de planalto. Entretanto a área de campo presente na depressão foi sendo gradativamente suprimida por floresta.

Conforme registrou-se anteriormente, no início do período de análise, entre 1987 e 1998, na porção norte da microbacia, encontram-se muitas áreas de campo e alguns fragmentos de agricultura. Nos anos seguintes, estes papéis foram invertidos, com o campo perdendo espaço para a agricultura nesta porção da microbacia.

Pode-se tratar as classes agricultura, solo exposto e agricultura irrigada como áreas complementares, pois todos representam regiões de atividades agrícolas. Assim sendo, ao analisar-se a classe agricultura e a classe solo exposto

simultaneamente, como solo agriculturável, pois as áreas classificadas como solo exposto são regiões de preparo do solo para plantio de cultivos agrícolas, é possível notar que, em média, a área das classes nos seis períodos analisados fica em torno de 6.160 ha, sendo que o ano que apresentou menor área de solo agriculturável foi 1998 que teve apenas 1.322,37 ha de solo exposto e 3.601,98 ha de agricultura, totalizando 4.924,35 ha, enquanto que a maior área de solo agriculturável foi registrada em 2005 com 7.374,51 ha, sendo 5.448,51 ha de agricultura e 1.926 ha de solo exposto.

Estas duas classes mostraram-se bastante relacionadas, pois a área de agricultura é inversamente proporcional a de solo exposto, como é possível observar no gráfico da figura 13.

A classe Agricultura Irrigada foi a que apresentou maior estabilidade, variando pouco tanto a sua área, quanto a região de ocorrência, já que o cultivo de arroz necessita de solos planos e disponibilidade de água para o seu desenvolvimento. Conforme a Embrapa (2005), as regiões orizícolas do Rio Grande do Sul encontram-se principalmente nos ecossistemas de várzeas, em planícies de rios, lagoas e lagunas. Nos 22 anos de acompanhamento, esta cultura sempre ocorreu nas áreas de várzea, ao longo, principalmente, do próprio Arroio Grande, entre as latitudes 29°37'57"S e 29°43'55"S e longitudes 53°36'15"O e 53°42'25"O, mostrados nas figuras a seguir.

A área de Agricultura Irrigada, em 1987, era de 1.921,32 ha apresentando-se constante até 2007, quando teve área igual a 1.778,22 ha e, ao término do período, em 2009, foram encontrados 1.294,8 ha, o que pode ser explicado pela época, data da imagem, em julho, quando as áreas de cultivo de arroz encontravam-se na entressafra.

Quanto às áreas de Lâmina d'água, pode-se notar nitidamente a interferência da época do ano nos resultados. As classificações de imagens de fevereiro (2005), março (1987 e 2002) e abril (2007), obtidas em meses mais secos, apresentam menores áreas de lâmina d'água, enquanto aquelas datadas de outubro (1998) e, principalmente, a última, de julho (2009), destacaram maiores áreas, sendo que esta última mostrou-se bem maior, 322,19 ha, o que se explica pelos níveis pluviométricos mais altos em função do inverno.

Contudo, em uma rápida análise espacial da evolução do uso e da cobertura da terra na microbacia do Arroio Grande, demonstra que a principal mudança encontrada vincula-se ao incremento de área de floresta, que segue os mesmos padrões encontrados por Ruhoff (2004), enquanto a menor variação de área total deu-se nos solos agricultura irrigada, provavelmente em função da pouca mobilidade espacial que esta cultura oferece, por suas exigências de relevos planos e disponibilidade hídrica.

Como resultado da classificação de cada ano, obtiveram-se mapas de uso da terra, nos quais foi possível analisar a evolução da ocupação espacial das seguintes feições: floresta, campo, agricultura, agricultura irrigada, solo exposto e lâmina d'água, nos anos de 1987, 1998, 2002, 2005, 2007 e 2009 (Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18 e Figura 19).

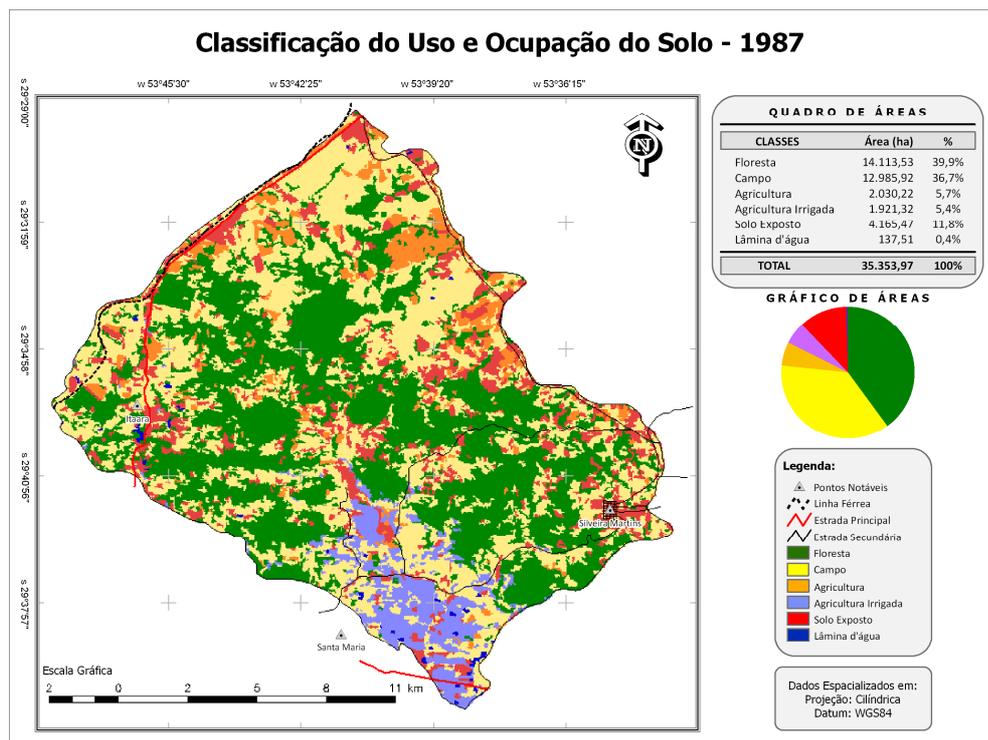


Figura 14 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Microbacia do Arroio Grande em março de 1987.

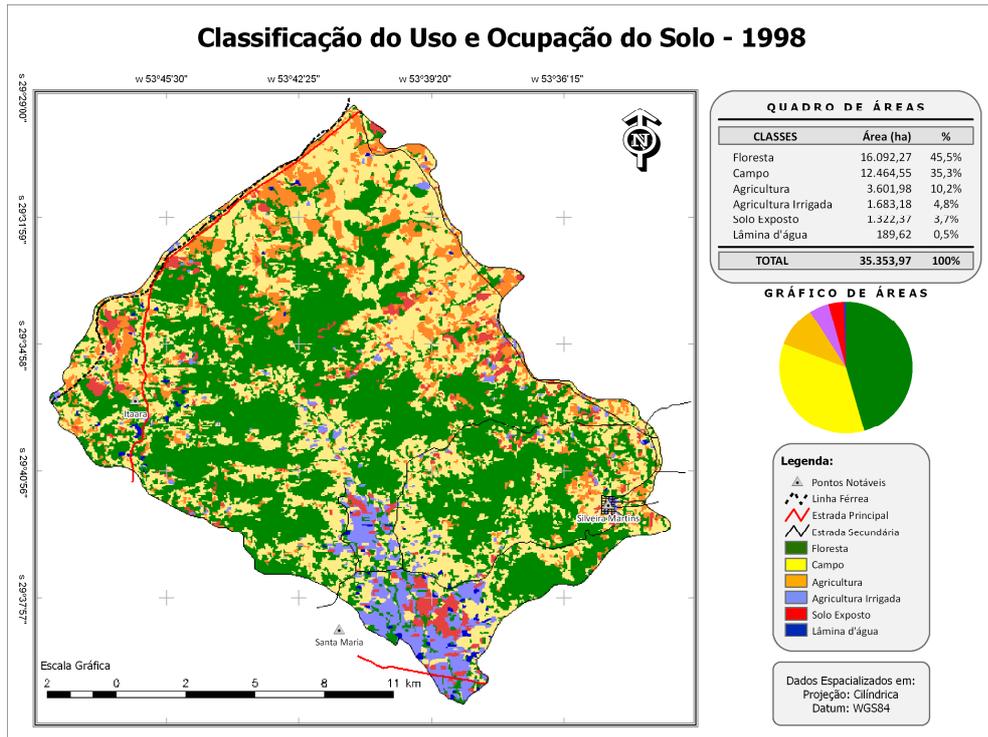


Figura 15 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Microbacia do Arroio Grande em outubro de 1998.

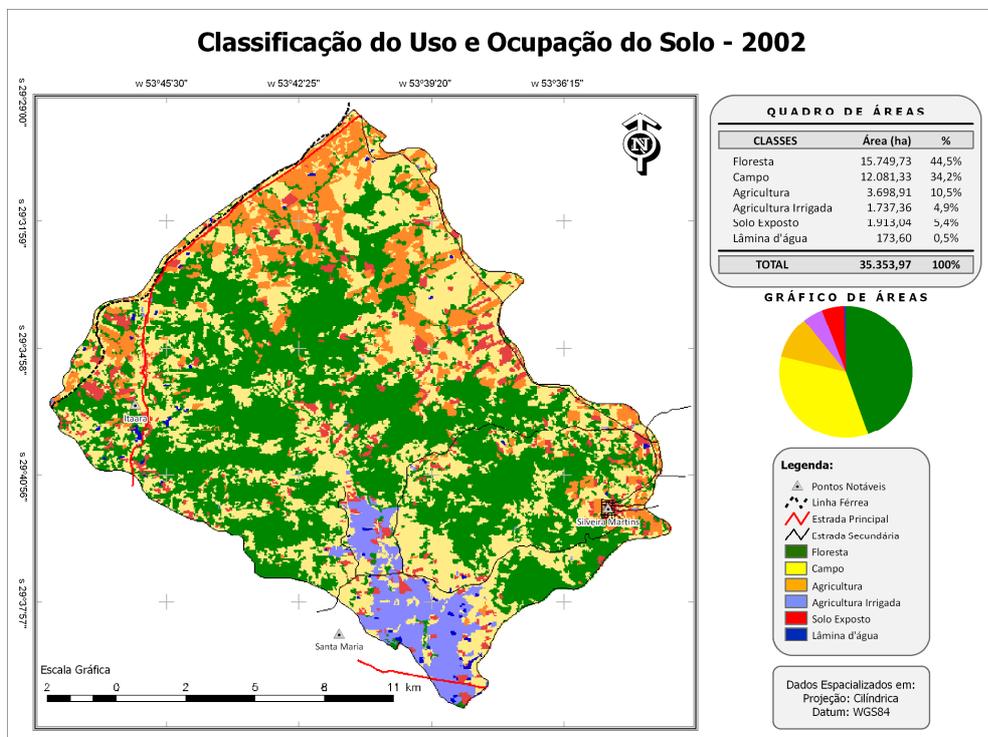


Figura 16 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Microbacia do Arroio Grande em março de 2002.

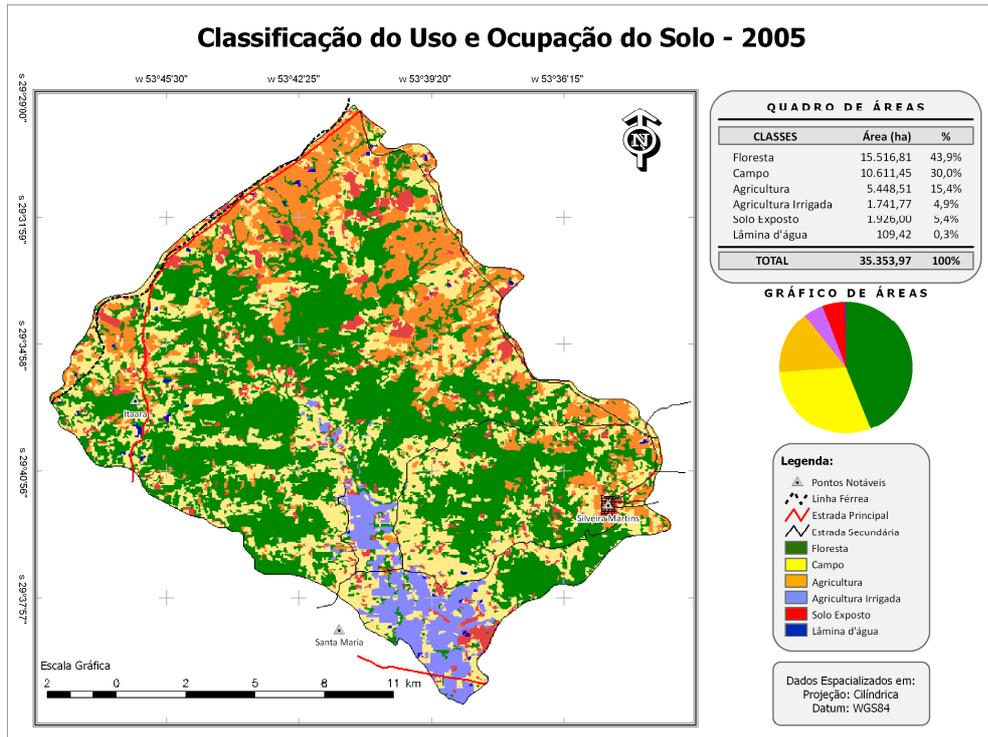


Figura 17 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Microbacia do Arroio Grande em fevereiro de 2005.

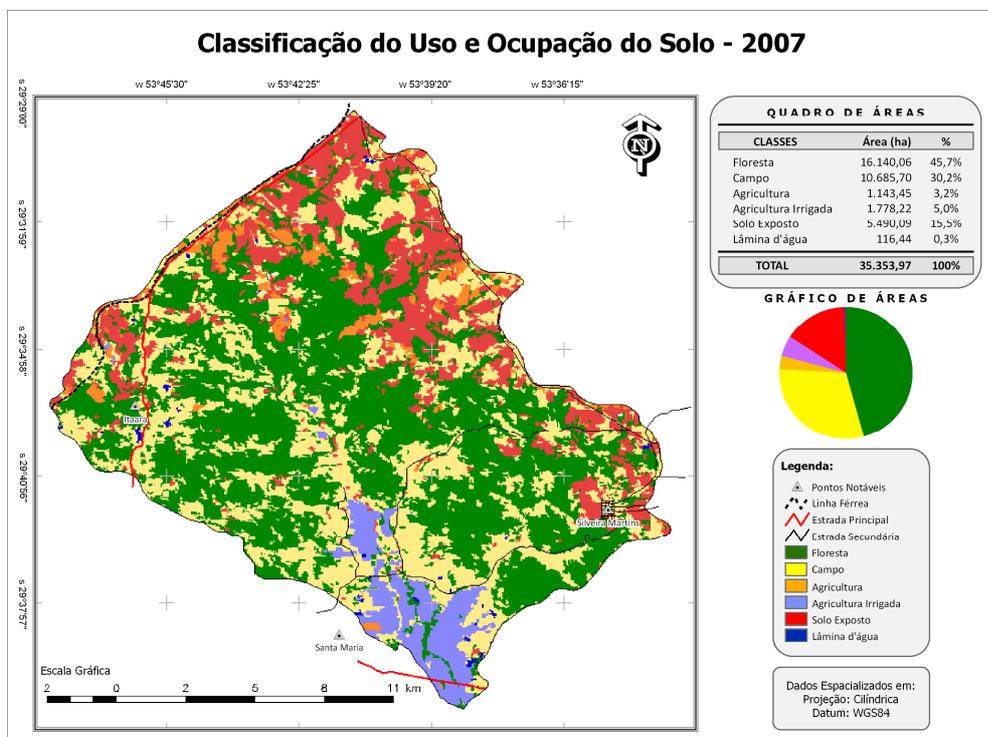


Figura 18 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Microbacia do Arroio Grande em abril de 2007.

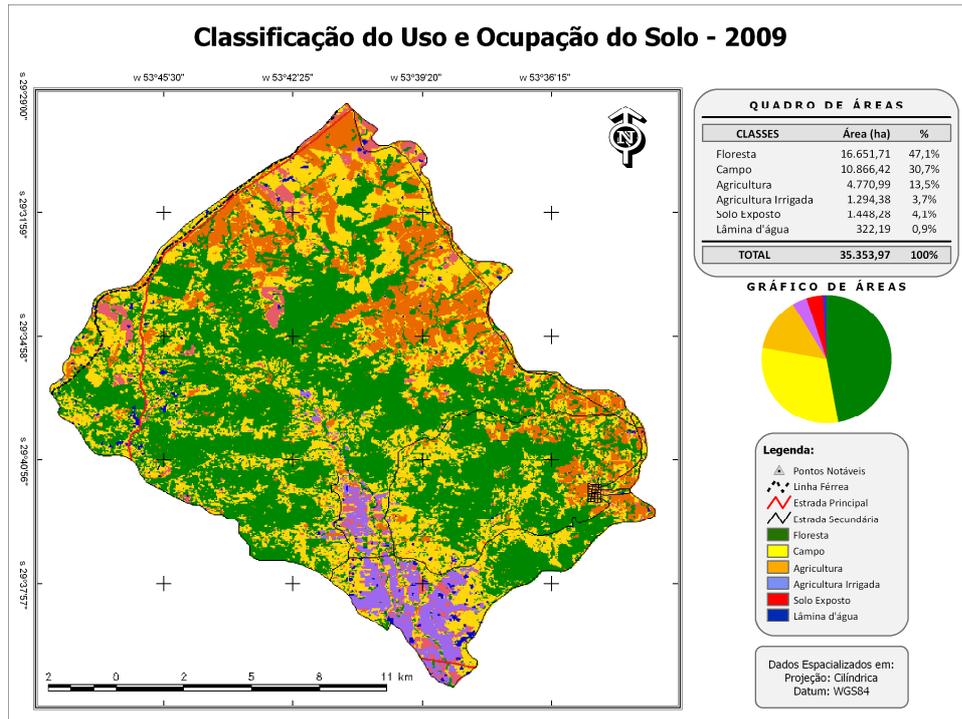


Figura 19 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Microbacia do Arroio Grande em julho de 2009.

4.4 Evolução Florestal

Os mapas de cobertura florestal foram gerados a partir da classificação digital das imagens de satélite para cada período. Os dados da evolução florestal foram organizados sob a análise das áreas obtidas para cada dois períodos sequenciais, nos quais se avaliou a regeneração florestal, a manutenção florestal e o desmatamento.

Os dados sobre a evolução florestal foram gerados através da programação LEGAL do SPRING, com o cruzamento dos mapas de classificação de uso e cobertura da terra. Fez-se, neste caso, o cruzamento de seis períodos:

- 1 – de março de 1987 a outubro de 1998 (APÊNDICE A);
- 2 – de outubro de 1998 a março de 2002 (APÊNDICE B);
- 3 – de março de 2002 a fevereiro de 2005 (APÊNDICE C);
- 4 – de fevereiro de 2005 a abril de 2007 (APÊNDICE D);
- 5 – de abril de 2007 a julho de 2009 (APÊNDICE E);
- 6 – de março de 1987 a julho de 2009 (APÊNDICE F).

Os primeiros cinco períodos de análise da evolução descritos foram realizados com o objetivo de melhor entender as mudanças da paisagem da microbacia do Arroio Grande; a sexta análise, por sua vez, serviu para quantificar as mudanças em todo o período.

Os resultados obtidos com as análises estão organizados na Tabela 5, com os dados de transição de cobertura florestal, ou seja, áreas de manutenção florestal, regeneração florestal e desmatamentos entre um ano e outro.

Tabela 5 – Evolução da Cobertura Florestal nos períodos 1987 a 1998, 1998 a 2002, 2002 a 2005, 2005 a 2007 e 2007 a 2009.

Períodos	Área	Manutenção Florestal	Regeneração Florestal	Desmatamentos
1987 à 1998	(ha)	12.118,68	3.964,50	1.978,29
	%*	34,28	11,21	5,60
1998 à 2002	(ha)	13.492,62	2.235,69	2.588,67
	%*	38,16	6,32	7,32
2002 à 2005	(ha)	13.354,47	2.152,80	2.373,84
	%*	37,77	6,09	6,71
2005 à 2007	(ha)	12.553,02	3.586,95	2.962,08
	%*	35,51	10,15	8,38
2007 à 2009	(ha)	13.125,42	3.508,92	3.008,43
	%*	37,13	9,93	8,51

(*) As porcentagens são em relação à área total da região de estudo (35.353,97 hectares)

Como foi possível observar na tabela anterior, a cobertura florestal na microbacia encontra-se em cenário de ascensão, visto que, nos 22 anos de avaliação, a manutenção florestal apresentou maior parte da área e poucas variações. Em relação ao desmatamento, nos períodos de 1998 a 2002 e 2002 a 2005, houve registro pouco superior às áreas de regeneração florestal e, depois desta data, a regeneração entrou em acréscimo até o fim do período em 2009. A figura 20 ilustra a evolução da cobertura florestal, quantificada em cinco períodos.

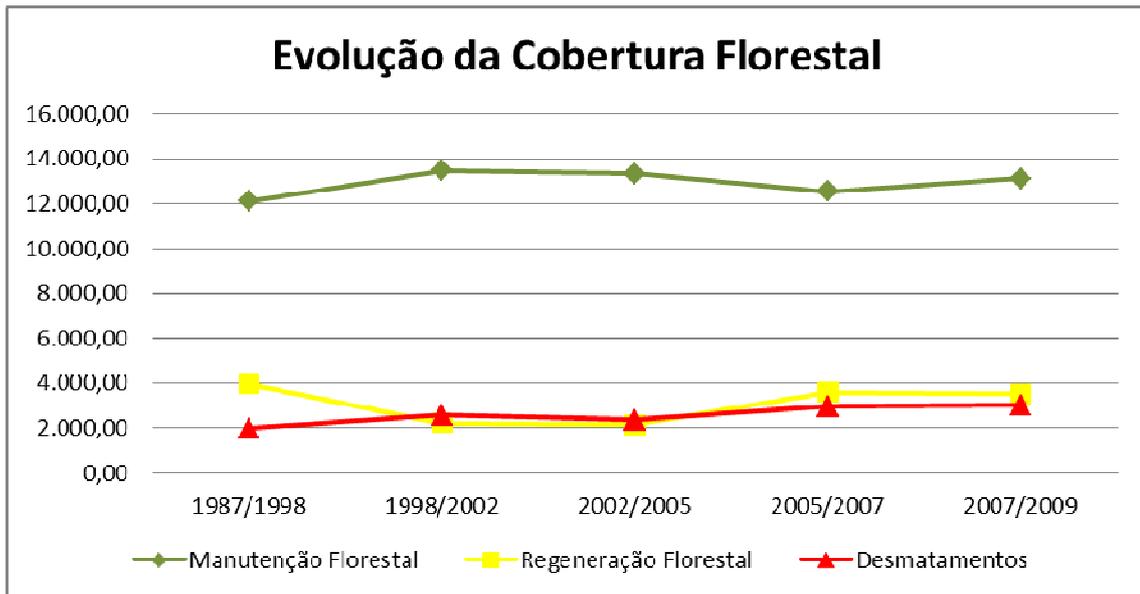


Figura 20 - Evolução da cobertura florestal de 1987 á 1998, 1998 à 2002, 2002 à 2005, 2005 à 2007 e 2007 à 2009.

No primeiro período de análise, de **março de 1987 a outubro de 1998**, a manutenção florestal apresentou uma área de 12.118,68 ha distribuídos por quase toda a área da microbacia, exceto nas áreas de várzea onde predomina o cultivo do arroz e na porção norte, onde se encontram áreas de cultivos agrícolas e pecuária. Nesta temporada, pode-se constatar que os focos de desmatamentos foram bem distribuídos, fragmentados por toda a região da microbacia, totalizando uma pequena área de 1.978,29 ha, representando 5,6% do total.

A regeneração florestal teve uma espacialidade mais característica, aparecendo particularmente na região de várzea, nas proximidades do cultivo de arroz, mas também com fragmentos espalhados por toda a região, totalizando 3.964,5 ha. A figura 21 apresenta o mapa da evolução florestal no período de 1987 a 1998.

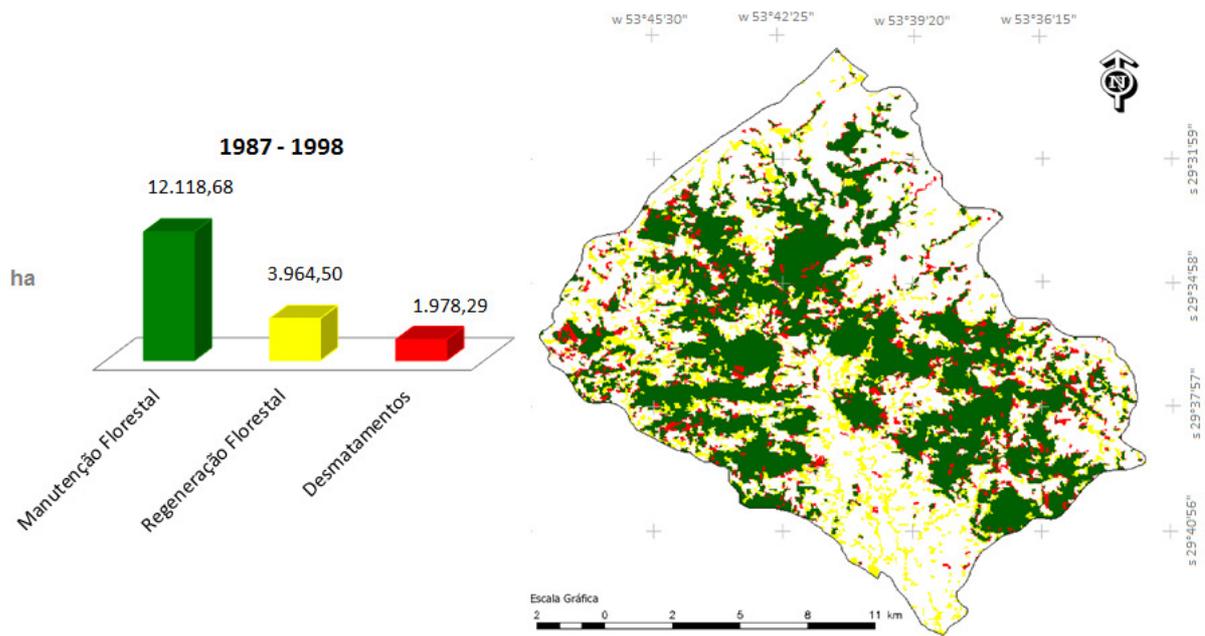


Figura 21 - Evolução Florestal de 1987 a 1998.

Entre **outubro de 1998 e março de 2002**, observou-se um acréscimo da manutenção florestal, totalizando 13.492,62 ha, com boa distribuição em toda a região, seguindo o mesmo padrão descrito anteriormente, além de se apresentar maiores focos também na região oeste da microbacia.

O desmatamento apresentou um aumento de 30,8%, totalizando 2.588,67 ha neste período e sua distribuição foi principalmente nas áreas de várzea, onde no período anterior, havia sido registrada regeneração florestal (Figura 22).

A regeneração florestal teve decréscimo, chegando a 2.235,69 ha com pequenos fragmentos distribuídos por toda a microbacia hidrográfica do Arroio Grande.

O período seguinte, **março de 2002 a fevereiro de 2005** teve uma maior estabilidade em relação ao anterior, tanto quantitativamente como espacialmente. Todas as classes avaliadas apresentaram redução de área, o desmatamento diminuiu 8,3% em relação ao período anterior, a manutenção florestal reduziu 1% e a regeneração diminuiu 3,7%. A Figura 23 que segue, mostra o mapa da evolução florestal entre 2002 e 2005.

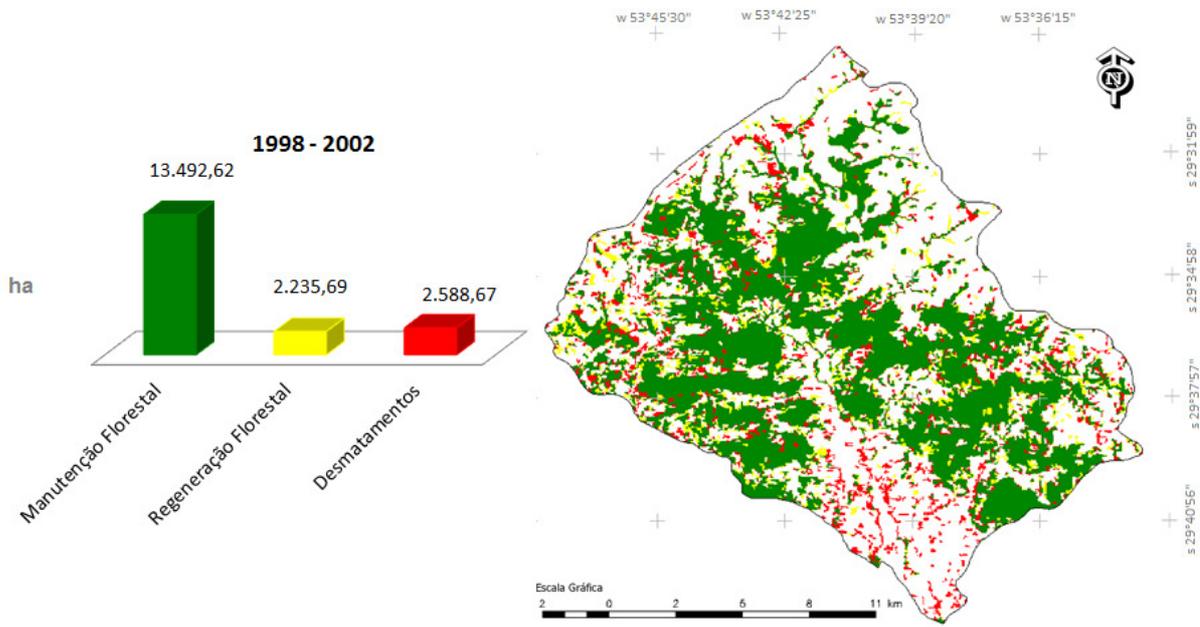


Figura 22 - Evolução Florestal de 1998 a 2002.

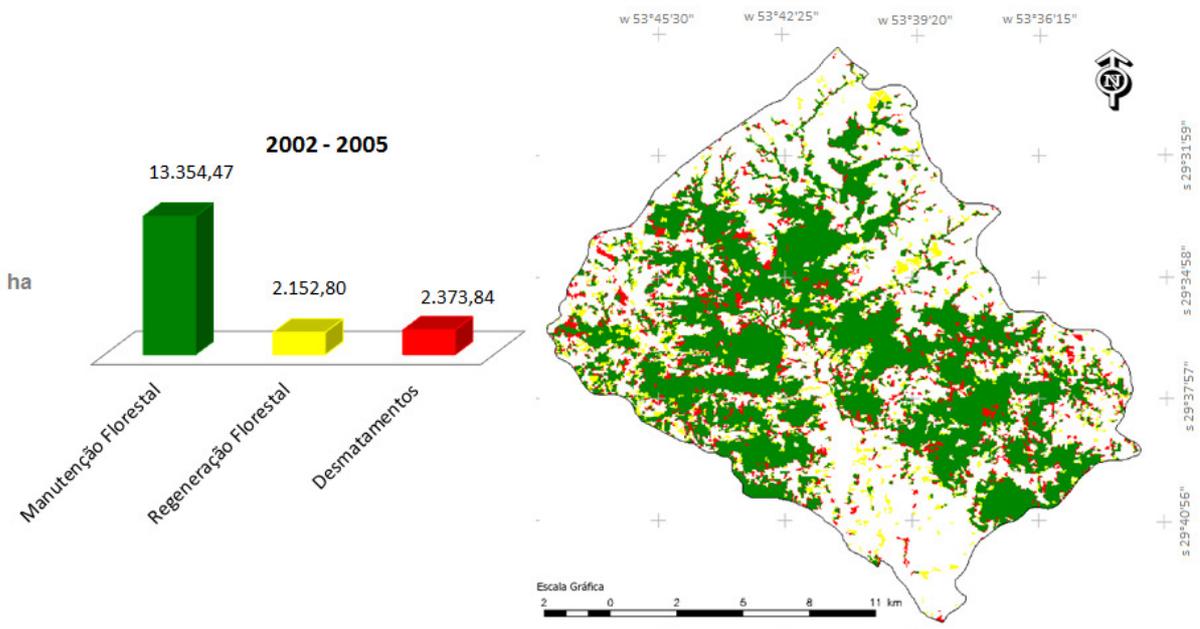


Figura 23 - Evolução Florestal de 2002 a 2005.

Ao contrário da avaliação do período anterior, entre **fevereiro de 2005 e abril de 2007**, foi encontrado aumento das áreas de desmatamento e de regeneração florestal, com redução apenas das áreas de manutenção florestal.

O desmatamento chegou a 2.962 ha, bem distribuídos por toda a região, bem como as áreas de regeneração, que alcançaram a 3.586,95 ha. A manutenção florestal, na temporada em questão, diminuiu para 12.553,02 ha, aparecendo mais acentuada na região centro-oeste da microbacia (Figura 24).

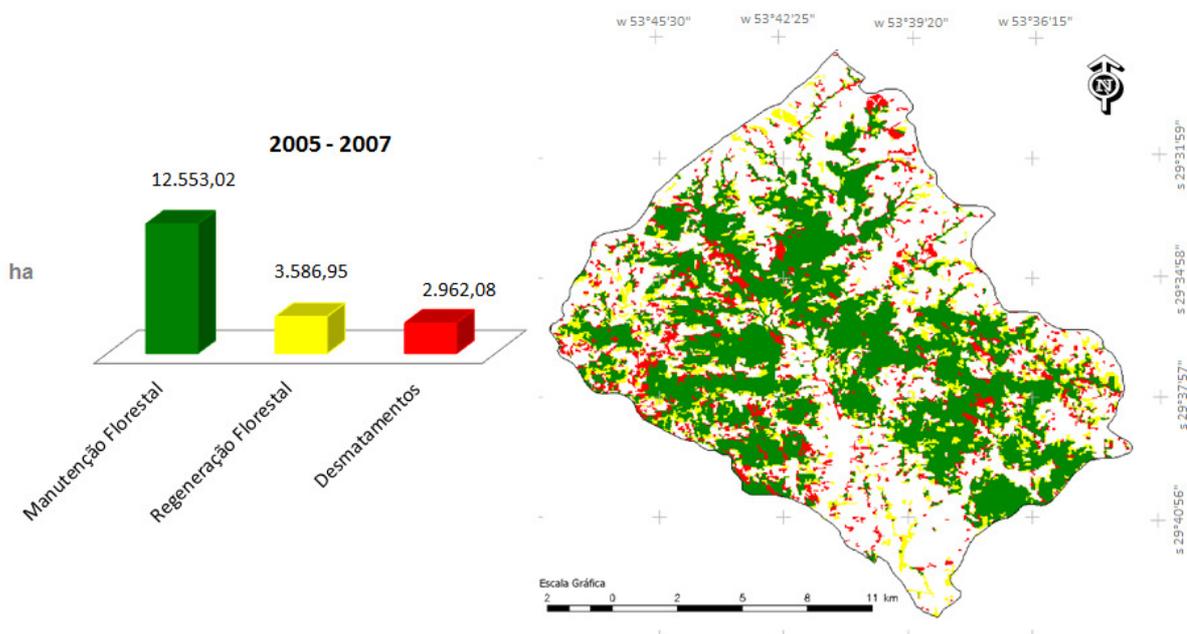


Figura 24 - Evolução Florestal de 2005 a 2007.

No último cenário evolutivo analisado (**2007/2009**), pode-se verificar um pequeno acréscimo das áreas de manutenção florestal que passaram de 12.553,02 ha para 13.125,42 ha distribuídos por toda a área, exceto nas várzeas de cultivo de arroz ao sul e no planalto, ao norte/nordeste.

As áreas de regeneração florestal e desmatamento permaneceram constantes desde a última avaliação. A regeneração florestal, localizada principalmente na região centro-oeste, onde se encontravam fragmentos de desmatamento na análise anterior, caiu de 3.586,95 ha para 3.508,92 ha, o que representa uma diminuição de 2,17% em 2 anos.

Já o desmatamento teve um acréscimo de 1,56%, chegando a 3.008,43 ha, encontrados nas regiões de planalto onde existiam áreas de cultivo agrícola e campo. A figura 25 apresenta a evolução florestal de 2007 a 2009.

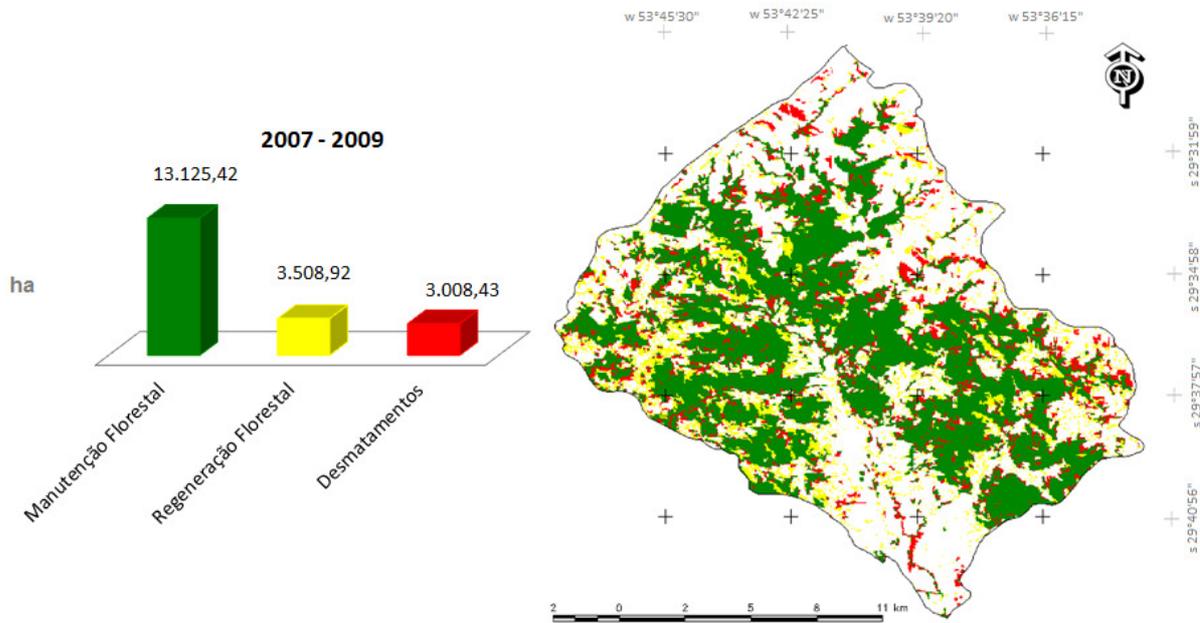


Figura 25 - Evolução Florestal de 2007 a 2009.

Apesar de períodos de grandes desmatamentos, a regeneração foi mais intensa, sendo assim é possível afirmar que existe incremento florestal dentro da microbacia do Arroio Grande.

Na avaliação do período evolutivo entre **março de 1987 e julho de 2009**, encontrou-se a manutenção florestal de 12.252,60 ha, dados que, possivelmente, serão somados aos valores da regeneração florestal, caso estes não sejam afetados pelo desmatamento, o que é pouco provável, visto que a área de regeneração florestal encontrada foi de 4.389,12 ha, enquanto o desmatamento apresentou valores bem menores, de apenas 1.853,82 ha.

Para melhor expor as proporções anteriormente descritas, elaborou-se a figura com a evolução da cobertura florestal entre 1987 e 2009, apresentado na figura 26.

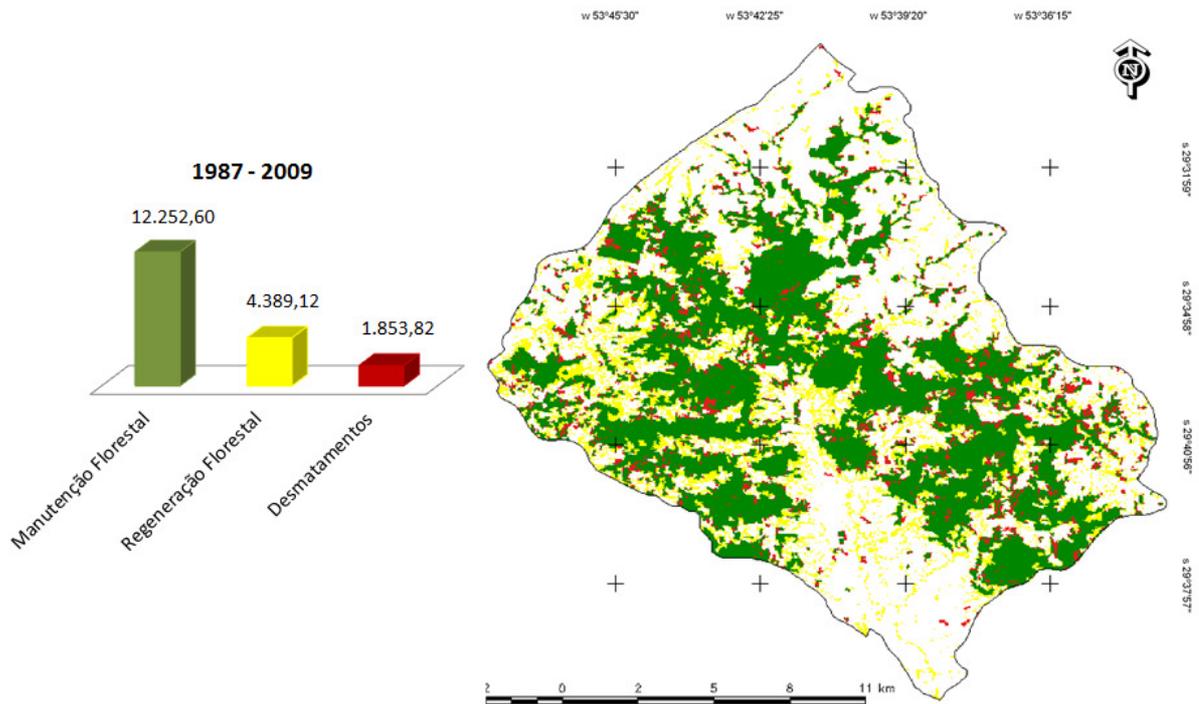


Figura 26 - Evolução da Cobertura Florestal entre 1987 e 2009.

Na figura 25 pode-se perceber a regeneração principalmente nas regiões oeste e nas várzeas, encontradas no centro e sul da microbacia.

A manutenção florestal encontra-se seguindo os mesmos padrões vistos nos períodos anteriores, estando ausente na parte sul e no planalto da microbacia.

As regiões desmatadas estão bem espalhadas por toda a área, não apresentando focos específicos de desmatamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise feita no presente estudo, com o uso de dados de imagens multitemporais dos satélites ALOS e LANDSAT, constatou-se que a Microbacia do Arroio Grande encontra-se em estabilidade da paisagem, com base na classificação de uso da terra nas diferentes datas analisadas e na evolução da cobertura florestal, possibilitando alguns comentários que, daí, são decorrentes.

O primeiro objetivo traçado, identificar e quantificar as diferentes classes de uso da terra encontradas nas imagens dos satélites LANDSAT e ALOS que cobrem a microbacia do Arroio Grande nos períodos de 1987, 1998, 2002, 2005, 2007 e 2009, foi alcançado e através dele constatou-se que:

As imagens LANDSAT 5 e 7, e a imagem ALOS apesar de apresentarem resoluções espaciais diferentes, proporcionaram com êxito a classificação supervisionada da cobertura da terra e a quantificação das áreas das classes: floresta, campo, agricultura, agricultura irrigada, solo exposto e lâmina d'água.

A feição Floresta foi predominante em todas as imagens analisadas, mostraram-se em acréscimo de área ocupada, quantificado em 14.113,53 hectares em 1987 e 16.651,71 hectares em 2009, representando 47,1% da área total da microbacia em julho de 2009.

Os campos, ao contrário da classe floresta, evidenciaram declínio de área durante os 22 anos de análises, partindo de 12.985,92 ha, em 1987, e apresentando 10.866,42 ha em 2009, o que representa 30,74% da região, sendo a segunda maior classe em extensão territorial da microbacia. A classe campo, no início do período de observações (1987) era predominante ao norte da microbacia, nas regiões de planalto, mas, no decorrer dos anos, esta área foi sendo substituída por agricultura.

A classe agricultura irrigada não apresentou grandes variações de área, nem tampouco mudanças de localização. Representa 3,66% da área total e localiza-se nas regiões de várzea, próximo aos cursos d'água, por ser representada por cultivos orizícolas e necessitar de solos planos e disponibilidade de água.

A feição agricultura apresentou-se relacionada a feição solo exposto, visto que a denominação solo exposto foi dada às áreas de preparo do solo para plantios agrícolas. Também foi possível observar relação inversa entre as duas classes, ou

seja, enquanto a agricultura apresentava grandes áreas, houve diminuição do solo exposto e vice-versa.

Sobre a classe lâmina d'água, pode-se considerar que ela apresenta-se relacionada às épocas do ano, aos períodos de seca e aos períodos de utilização de água no plantio, principalmente de arroz irrigado. A feição lâmina d'água representou 0,91% do território da microbacia em julho de 2009, período de maior contribuição desta classe.

O segundo objetivo proposto foi de cruzar as informações de uso da terra evidenciando a cobertura florestal (manutenção florestal, regeneração florestal e desmatamentos) que sofreram alterações no decorrer dos mesmos períodos. Este objetivo foi realizado e sobre ele constatou-se que:

Na análise multitemporal da cobertura florestal foi possível verificar que a manutenção florestal encontra-se em ascensão na microbacia, partindo de 12.118,68 ha no primeiro período (1987/1998) para 13.125,42 ha no último período de estudo (2007/2009). Verificou-se ainda, que a manutenção florestal foi predominante em todas as fases do estudo, ocupando na última análise 37,13% da área total da microbacia.

A regeneração florestal, que no primeiro período (1987/1998) apresentava 3.964,5 ha, teve uma queda nos períodos seguintes, chegando a 2.152,80 ha no terceiro período (2002/2005) e voltou aumentar até o fim das observações (2007/2009), quando ocupava 3.508,92 ha, ou 9,93% da área total da microbacia.

As áreas de desmatamento tiveram um aumento gradativo no decorrer do tempo, conforme os resultados da álgebra de mapas. Na primeira análise as áreas de desmatamento eram de 1.978,29 ha e ao final do estudo representavam 8,51% da área da microbacia, ou 3.008,43 ha.

Ao fazer-se uma avaliação geral em torno da evolução florestal foi possível perceber um cenário da paisagem bastante otimista na microbacia do Arroio Grande no que se refere à evolução florestal, pelo fato de que, na avaliação do período total (1987/2009), verificou-se uma área considerável de manutenção florestal, equivalendo a 34,66% do total, e regeneração de 12,41%, enquanto o desmatamento apareceu com apenas 5,24% da área.

O banco de dados geográficos estabelecidos para a elaboração desta pesquisa pode ser utilizado para gerar modelos dinâmicos de simulação espacial,

bem como servir como base para pesquisas que complementem as informações sobre a microbacia estudada, o que certamente somará e servirá para o planejamento ambiental e econômico da região.

Pode-se sugerir, portanto, a utilização da metodologia aplicada neste trabalho para a classificação de uso da terra e o monitoramento da evolução florestal na elaboração de trabalhos de monitoramento ambiental, análises multitemporais e dinâmicas de uso e cobertura da terra, uma vez que a mesma atingiu as expectativas e os objetivos traçados.

Estes objetivos visavam a alcançar informações do uso e cobertura da terra a partir das imagens multi-sensores, empregando-se estas classificações no cruzamento de mapas, utilizando a análise LEGAL para obter o monitoramento da evolução florestal, quantificando as classes de manutenção florestal, regeneração florestal e desmatamentos.

Os resultados apresentados no presente estudo, bem como a base de dados utilizada são de propriedade pública e poderão servir de base para estudos futuros que o complementem, permitindo a atualização das informações e um melhor conhecimento da microbacia hidrográfica do Arroio Grande.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Regiões Hidrográficas**. Disponível em: <www.ana.gov.br>. Acesso em: 18 mai.2011.

BACHEGA, C. C. F. et al. **Análise multitemporal da cobertura do solo na bacia do Rio Negro, MS**. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 2009, Natal. **Anais**. INPE, p. 1253-1259, 2009.

BENEDETTI, A. C. P. **Análise Espacial da Evolução do Uso e Cobertura da Terra na Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Arenal, Santa Maria/RS**. 2006. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BENEDETTI, A. C. P. **Modelagem dinâmica para simulação de mudanças na cobertura florestal das Serras do Sudeste e Campanha Meridional do Rio Grande do Sul**. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BRASIL. 1965. **Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965**. Institui o novo Código Florestal. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>. Acesso em: 19. jan.2010.

BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Inventário Florestal da Quarta Colônia. In: ITAQUI, J. (Org.). **Quarta Colônia – Inventário Técnico de Flora e Fauna**. Santa Maria: Condensus Quarta Colônia, 2002. p. 35 – 136.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches**. 1.ed. Virginia: Regional Research Institute, West Virginia University, 2000.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Princípios básicos em Geoprocessamento. In ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Orgs.) **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2 ed. Brasília: EMBRAPA, 1998a. p. 3 – 11.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Mapas e suas representações computacionais. In ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Orgs.) **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2 ed. Brasília: EMBRAPA, 1998b. p. 13 – 29.

CARVALHO JÚNIOR, O. A. et al. Processamento e análise de imagens multitemporais para o perímetro de irrigação de Gorutuba (MG). In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Goiânia, 2005. **Anais**. INPE, p. 473-480, 2005.

COSTA, F. A. da. **Aplicação de Geoprocessamento na Análise e Modelagem Ambiental da Microbacia Arroio Passo do Pilão: Estudo de Adequação de Uso da Terra Relacionado aos Sistemas Agrícolas**. 2000. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

CROSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170p.

DAVIS, C.; CÂMARA, G. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Orgs.) **Introdução à ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 345p.

DLUGOSZ, F. L. et al. Índice para avaliação de segmentação de imagens. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 1, p. 131-143, jan./mar. 2009.

EGLER, C. A. G. Mudanças Recentes no Uso e na Cobertura da Terra no Brasil. In: SEMINÁRIO DE DIMENSÕES HUMANAS DE MUDANÇAS AMBIENTAIS GLOBAIS: PERSPECTIVAS BRASILEIRAS, 2001, Campinas: UNICAMP, 2001. Disponível em: < http://www.laget.igeo.ufrj.br/egler/pdf/Usos_VF.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil**. 2005. Disponível em: < <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap03.htm>>. Acesso em: 15 mai. 2011.

ESPINDOLA, M.G. **Ajuste de Parâmetros em algoritmos de segmentação de imagens por crescimento de regiões**. 2007. 68f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – SP, 2007. Disponível em: <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13%4080/2006/12.21.11.14/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2011.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Qualidade ambiental**. Porto Alegre: 2011. Disponível em: < http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_jacui/jacui.asp>. Acesso em: 29 mai. 2011.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de Satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades**. Brasília: 2010. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 03 jun. 2011.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Manual do Usuário SPRING-Tutorial de Geoprocessamento**. Brasília, 2002. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html>. Acesso em: 20 mai. 2011.

_____. **Manual do Usuário SPRING**. São José dos Campos: 2004. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html> >. Acesso em: 25 abr. 2011.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Ed Parêntese, 2009. 598 p.. Traduzido por José Carlos Neves Epiphano et. Al.

JÚNIOR, J. S. B.; ALMEIDA, A. S. de. Análise multitemporal com a utilização da técnica de sensoriamento remoto e geoprocessamento no município de Bonito – Pará. In: III SIMPOSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO. Recife, 2010. **Anais** p. 001 – 007, 2010.

LIMA, W. P; ZAKIA, M.J.B. **As Florestas Plantadas e a Água** – implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos, SP: Ed Rima, 2006. 226p.

MENKE, A. B. et al. Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luis Eduardo Magalhães (BA – Brasil). **Revista Sociedade & Natureza**. Uberlândia, MG, v. 21, n. 3, dez. 2009.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

MIRANDOLA, P. H. **Análise Geo- Ambiental Multitemporal para fins de Planejamento Ambiental**: Um exemplo aplicado a Bacia Hidrográfica do Rio Cabaçal, Mato Grosso Brasil. 2006. 323 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MMA. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Conjunto de normas legais: recursos hídricos**. 6. ed. Brasília; DF: 2008. 466 p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2005. 320 p.

MOREIRA, R. A. et al. Análise temporal do uso do solo nos municípios do entorno de Parque Nacional das Emas com a utilização de imagens Landsat e CBERS-2. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais**. INPE, p. 633-641, 2005.

MOREIRA, A. A.; Soares, V. P.; GLERIANI, J. M.; Ribeiro, C. A. A. S.. Utilização de algoritmo de classificação para o mapeamento do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Riberão São Bartolomeu, Viçosa - MG, a partir de uma imagem do sensor IKONOS II. 2009. (Apresentação de Trabalho/Simpósio).

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961.

NOVO, E.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2 ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2008. 363 p.

OLIVEIRA, G. de. *et al.*. Análise comparativa do desempenho de algoritmos de classificação para o mapeamento de áreas de cultivo de banana. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba, PR. **Anais eletrônicos...** Curitiba, PR: SBSR, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0763.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2011.

PIROLI, E. L. **Introdução ao Geoprocessamento**. Ourinhos, SP: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Curso de Geografia. 2010. Disponível em: <<http://ebookbrowse.com/livro-introducao-ao-geoprocessamento-pdf-d70311533>>. Acesso em: 25 mai. 2011.

PORTO, R. P. A Conservação do Solo. In: PORTO, R. P. (Org.) **Subsídios de Educação, Ecologia e Conservação do Solo**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, 1983. p. 9 – 13.

PRÓ-GUAIBA. **Região Hidrográfica do Guaíba**. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.proguaiba.rs.gov.br/bacias.htm#vacacai>>. Acesso em: 20 jun.2011.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analyses**: an introduction. 2. Nd. Berlin: Springer-Verlag, 1993. 340p.

REBOUÇAS, A. **Uso inteligente da água**. São Paulo, SP: Ed Escritura Editora, 2004. 207p.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento**: Tecnologia Transdisciplinar. Juíz de Fora: Ed do Autor, 2000. 220p.

RUHOFF, A. L. **Gerenciamento de Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas**: Modelagem Ambiental com simulação de cenários preservacionistas. 2004. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SCIPIONI, M. C. **Análise dos Padrões Florísticos e Estruturais da comunidade arbóreo-arbustiva e da regeneração natural em gradientes ambientais na Floresta Estacional, RS, Brasil**. 2008. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SEPLAG. Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadão. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: 2008. Disponível em:<<http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=340>>. Acesso em: 31 mai. 2011.

SILVA, A. de B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas**: conceito e fundamentos. Campinas, SP: Ed da UNICAMP, 2003. 236 p.

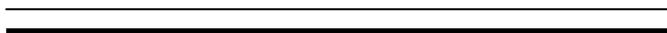
STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/ASCAR-RS, 2008. 222p.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. de. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. 428p.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. dos. Técnicas de classificação de imagens para análise da cobertura vegetal. In ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Orgs.) **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2 ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 351 – 371.

VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T (Org.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro, RJ: Ed. Bertrand Brasil, 2004. 280 p.

APÊNDICES



APÊNDICE A - Programa em LEGAL para cobertura florestal no período de 1987 a 1998.

```
// CRUZAMENTO 1987/1998
{
//Avaliacao das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra
//Declaracoes
Tematico Uso1987 ("LandUseCover");
Tematico Uso1998 ("LandUseCover");
Tematico Uso2002 ("LandUseCover");
Tematico Uso2005 ("LandUseCover");
Tematico Uso2007 ("LandUseCover");
Tematico Uso2009 ("LandUseCover");
Tematico Cruzamento ("Cruzamento");
//RecuperarPI's
Uso1987 = Recuperar (Nome= "Classif_LS_1987");
Uso1998 = Recuperar (Nome= "Classif_LS_1998");
Uso2002 = Recuperar (Nome= "Classif_LS7_2002");
Uso2005 = Recuperar (Nome= "Classif_LS_2005");
Uso2007 = Recuperar (Nome= "Classif_LS_2007");
Uso2009 = Recuperar (Nome= "Classif_AlosLS_2009-10");
//Cria cruzamento entre PI's
Cruzamento= Novo (Nome = "Cruzamento-87/98", ResX=30, ResY=30, Escala =
60000);
//Cria Tabela de Conflitos Ambientais pelo Uso da Terra
Cruzamento= Atribua
{
"ManutencaoFlorestal-87/98": (Uso1987.Classe == "Florestas" && Uso1998.Classe
== "Florestas"),
"ManutencaoFlorestal-87/98": (Uso1987.Classe == "Florestas" && Uso1998.Classe
== "Florestas"),

"Desflorestamento-87/98" : (Uso1987.Classe == "Florestas" && Uso1998.Classe ==
"Campos"),
"Desflorestamento-87/98" : (Uso1987.Classe == "Florestas" && Uso1998.Classe ==
"Agricultura"),
"Desflorestamento-87/98" : (Uso1987.Classe == "Florestas" && Uso1998.Classe ==
"Agricultura_Irrigada"),
"Desflorestamento-87/98" : (Uso1987.Classe == "Florestas" && Uso1998.Classe ==
"Solos_Expostos"),
"Desflorestamento-87/98" : (Uso1987.Classe == "Florestas" && Uso1998.Classe ==
"Lamina_Agua"),

"Reflorestamento-87/98" : (Uso1998.Classe == "Florestas" && Uso1987.Classe ==
"Campos"),
"Reflorestamento-87/98" : (Uso1998.Classe == "Florestas" && Uso1987.Classe ==
"Agricultura"),
"Reflorestamento-87/98" : (Uso1998.Classe == "Florestas" && Uso1987.Classe ==
"Agricultura_Irrigada"),
```

```
"Reflorestamento-87/98" : (Uso1998.Classe == "Florestas" && Uso1987.Classe ==  
"Solos_Expostos"),  
"Reflorestamento-87/98" : (Uso1998.Classe == "Florestas" && Uso1987.Classe ==  
"Lamina_Agua");  
}
```

APÊNDICE B - Programa em LEGAL para cobertura florestal no período 1998 à 2002.

```
// CRUZAMENTO 1998/2002
{
//Avaliacao das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra
//Declaracoes
Tematico Uso1987 ("LandUseCover");
Tematico Uso1998 ("LandUseCover");
Tematico Uso2002 ("LandUseCover");
Tematico Uso2005 ("LandUseCover");
Tematico Uso2007 ("LandUseCover");
Tematico Uso2009 ("LandUseCover");
Tematico Cruzamento ("Cruzamento");
//RecuperarPI's
Uso1987 = Recuperar (Nome= "Classif_LS_1987");
Uso1998 = Recuperar (Nome= "Classif_LS_1998");
Uso2002 = Recuperar (Nome= "Classif_LS7_2002");
Uso2005 = Recuperar (Nome= "Classif_LS_2005");
Uso2007 = Recuperar (Nome= "Classif_LS_2007");
Uso2009 = Recuperar (Nome= "Classif_AlosLS_2009-10");
//Cria cruzamento entre PI's
Cruzamento= Novo (Nome = "Cruzamento-98/02", ResX=30, ResY=30, Escala =
60000);
//Cria Tabela de Conflitos Ambientais pelo Uso da Terra
Cruzamento= Atribua
{
"ManutencaoFlorestal-98/02": (Uso1998.Classe == "Florestas" && Uso2002.Classe
== "Florestas"),
"ManutencaoFlorestal-98/02": (Uso1998.Classe == "Florestas" && Uso2002.Classe
== "Florestas"),

"Desflorestamento-98/02" : (Uso1998.Classe == "Florestas" && Uso2002.Classe ==
"Campos"),
"Desflorestamento-98/02" : (Uso1998.Classe == "Florestas" && Uso2002.Classe ==
"Agricultura"),
"Desflorestamento-98/02" : (Uso1998.Classe == "Florestas" && Uso2002.Classe ==
"Agricultura_Irrigada"),
"Desflorestamento-98/02" : (Uso1998.Classe == "Florestas" && Uso2002.Classe ==
"Solos_Expostos"),
"Desflorestamento-98/02" : (Uso1998.Classe == "Florestas" && Uso2002.Classe ==
"Lamina_Agua"),

"Reflorestamento-98/02" : (Uso2002.Classe == "Florestas" && Uso1998.Classe ==
"Campos"),
"Reflorestamento-98/02" : (Uso2002.Classe == "Florestas" && Uso1998.Classe ==
"Agricultura"),
"Reflorestamento-98/02" : (Uso2002.Classe == "Florestas" && Uso1998.Classe ==
"Agricultura_Irrigada"),
```

```
"Reflorestamento-98/02" : (Uso2002.Classe == "Florestas" && Uso1998.Classe ==  
"Solos_Expostos"),  
"Reflorestamento-98/02" : (Uso2002.Classe == "Florestas" && Uso1998.Classe ==  
"Lamina_Agua");  
}
```

APÊNDICE C - Programa em LEGAL para cobertura florestal no período 2002 à 2005

```

{
//Avaliacao das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra
//Declaracoes
Tematico Uso1987 ("LandUseCover");
Tematico Uso1998 ("LandUseCover");
Tematico Uso2002 ("LandUseCover");
Tematico Uso2005 ("LandUseCover");
Tematico Uso2007 ("LandUseCover");
Tematico Uso2009 ("LandUseCover");
Tematico Cruzamento ("Cruzamento");
//RecuperarPI's
Uso1987 = Recuperere (Nome= "Classif_LS_1987");
Uso1998 = Recuperere (Nome= "Classif_LS_1998");
Uso2002 = Recuperere (Nome= "Classif_LS7_2002");
Uso2005 = Recuperere (Nome= "Classif_LS_2005");
Uso2007 = Recuperere (Nome= "Classif_LS_2007");
Uso2009 = Recuperere (Nome= "Classif_AlosLS_2009-10");
//Cria cruzamento entre PI's
Cruzamento= Novo (Nome = "Cruzamento-02/05", ResX=30, ResY=30, Escala =
60000);
//Cria Tabela de Conflitos Ambientais pelo Uso da Terra
Cruzamento= Atribua
{
"ManutencaoFlorestal-02/05": (Uso2002.Classe == "Florestas" && Uso2005.Classe
== "Florestas"),
"ManutencaoFlorestal-02/05": (Uso2002.Classe == "Florestas" && Uso2005.Classe
== "Florestas"),

"Desflorestamento-02/05" : (Uso2002.Classe == "Florestas" && Uso2005.Classe ==
"Campos"),
"Desflorestamento-02/05" : (Uso2002.Classe == "Florestas" && Uso2005.Classe ==
"Agricultura"),
"Desflorestamento-02/05" : (Uso2002.Classe == "Florestas" && Uso2005.Classe ==
"Agricultura_Irrigada"),
"Desflorestamento-02/05" : (Uso2002.Classe == "Florestas" && Uso2005.Classe ==
"Solos_Expostos"),
"Desflorestamento-02/05" : (Uso2002.Classe == "Florestas" && Uso2005.Classe ==
"Lamina_Agua"),

"Reflorestamento-02/05" : (Uso2005.Classe == "Florestas" && Uso2002.Classe ==
"Campos"),
"Reflorestamento-02/05" : (Uso2005.Classe == "Florestas" && Uso2002.Classe ==
"Agricultura"),
"Reflorestamento-02/05" : (Uso2005.Classe == "Florestas" && Uso2002.Classe ==
"Agricultura_Irrigada"),

```

```
"Reflorestamento-02/05" : (Uso2005.Classe == "Florestas" && Uso2002.Classe ==  
"Solos_Expostos"),  
"Reflorestamento-02/05" : (Uso2005.Classe == "Florestas" && Uso2002.Classe ==  
"Lamina_Agua");  
}
```

APÊNCICE D - Programa em LEGAL para cobertura florestal no período 2005 à 2007.

```

{
//Avaliacao das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra
//Declaracoes
Tematico Uso1987 ("LandUseCover");
Tematico Uso1998 ("LandUseCover");
Tematico Uso2002 ("LandUseCover");
Tematico Uso2005 ("LandUseCover");
Tematico Uso2007 ("LandUseCover");
Tematico Uso2009 ("LandUseCover");
Tematico Cruzamento ("Cruzamento");
//RecuperarPI's
Uso1987 = Recuperere (Nome= "Classif_LS_1987");
Uso1998 = Recuperere (Nome= "Classif_LS_1998");
Uso2002 = Recuperere (Nome= "Classif_LS7_2002");
Uso2005 = Recuperere (Nome= "Classif_LS_2005");
Uso2007 = Recuperere (Nome= "Classif_LS_2007");
Uso2009 = Recuperere (Nome= "Classif_AlosLS_2009-10");
//Cria cruzamento entre PI's
Cruzamento= Novo (Nome = "Cruzamento-05/07", ResX=30, ResY=30, Escala =
60000);
//Cria Tabela de Conflitos Ambientais pelo Uso da Terra
Cruzamento= Atribua
{
"ManutencaoFlorestal-05/07": (Uso2005.Classe == "Florestas" && Uso2007.Classe
== "Florestas"),
"ManutencaoFlorestal-05/07": (Uso2005.Classe == "Florestas" && Uso2007.Classe
== "Florestas"),

"Desflorestamento-05/07" : (Uso2005.Classe == "Florestas" && Uso2007.Classe ==
"Campos"),
"Desflorestamento-05/07" : (Uso2005.Classe == "Florestas" && Uso2007.Classe ==
"Agricultura"),
"Desflorestamento-05/07" : (Uso2005.Classe == "Florestas" && Uso2007.Classe ==
"Agricultura_Irrigada"),
"Desflorestamento-05/07" : (Uso2005.Classe == "Florestas" && Uso2007.Classe ==
"Solos_Expostos"),
"Desflorestamento-05/07" : (Uso2005.Classe == "Florestas" && Uso2007.Classe ==
"Lamina_Agua"),

"Reflorestamento-05/07" : (Uso2007.Classe == "Florestas" && Uso2005.Classe ==
"Campos"),
"Reflorestamento-05/07" : (Uso2007.Classe == "Florestas" && Uso2005.Classe ==
"Agricultura"),
"Reflorestamento-05/07" : (Uso2007.Classe == "Florestas" && Uso2005.Classe ==
"Agricultura_Irrigada"),

```

```
"Reflorestamento-05/07" : (Uso2007.Classe == "Florestas" && Uso2005.Classe ==  
"Solos_Expostos"),  
"Reflorestamento-05/07" : (Uso2007.Classe == "Florestas" && Uso2005.Classe ==  
"Lamina_Agua");  
}
```

APÊNDICE E - Programa em LEGAL para cobertura florestal no período 2007 à 2009.

```

{
//Avaliacao das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra
//Declaracoes
Tematico Uso1987 ("LandUseCover");
Tematico Uso1998 ("LandUseCover");
Tematico Uso2002 ("LandUseCover");
Tematico Uso2005 ("LandUseCover");
Tematico Uso2007 ("LandUseCover");
Tematico Uso2009 ("LandUseCover");
Tematico Cruzamento ("Cruzamento");
//RecuperarPI's
Uso1987 = Recuperere (Nome= "Classif_LS_1987");
Uso1998 = Recuperere (Nome= "Classif_LS_1998");
Uso2002 = Recuperere (Nome= "Classif_LS7_2002");
Uso2005 = Recuperere (Nome= "Classif_LS_2005");
Uso2007 = Recuperere (Nome= "Classif_LS_2007");
Uso2009 = Recuperere (Nome= "Classif_AlosLS_2009-10");
//Cria cruzamento entre PI's
Cruzamento= Novo (Nome = "Cruzamento-07/09", ResX=30, ResY=30, Escala =
60000);
//Cria Tabela de Conflitos Ambientais pelo Uso da Terra
Cruzamento= Atribua
{
"ManutencaoFlorestal-07/09": (Uso2007.Classe == "Florestas" && Uso2009.Classe
== "Florestas"),
"ManutencaoFlorestal-07/09": (Uso2007.Classe == "Florestas" && Uso2009.Classe
== "Florestas"),

"Desflorestamento-07/09" : (Uso2007.Classe == "Florestas" && Uso2009.Classe ==
"Campos"),
"Desflorestamento-07/09" : (Uso2007.Classe == "Florestas" && Uso2009.Classe ==
"Agricultura"),
"Desflorestamento-07/09" : (Uso2007.Classe == "Florestas" && Uso2009.Classe ==
"Agricultura_Irrigada"),
"Desflorestamento-07/09" : (Uso2007.Classe == "Florestas" && Uso2009.Classe ==
"Solos_Expostos"),
"Desflorestamento-07/09" : (Uso2007.Classe == "Florestas" && Uso2009.Classe ==
"Lamina_Agua"),

"Reflorestamento-07/09" : (Uso2009.Classe == "Florestas" && Uso2007.Classe ==
"Campos"),
"Reflorestamento-07/09" : (Uso2009.Classe == "Florestas" && Uso2007.Classe ==
"Agricultura"),
"Reflorestamento-07/09" : (Uso2009.Classe == "Florestas" && Uso2007.Classe ==
"Agricultura_Irrigada"),

```

```
"Reflorestamento-07/09" : (Uso2009.Classe == "Florestas" && Uso2007.Classe ==  
"Solos_Expostos"),  
"Reflorestamento-07/09" : (Uso2009.Classe == "Florestas" && Uso2007.Classe ==  
"Lamina_Agua");  
}
```

APÊNDICE F - Programa em LEGAL para cobertura florestal no período 1987 à 2009.

```
// CRUZAMENTO 1987/2009
{
//Avaliacao das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra
//Declaracoes
Tematico Uso1987 ("LandUseCover");
Tematico Uso1998 ("LandUseCover");
Tematico Uso2002 ("LandUseCover");
Tematico Uso2005 ("LandUseCover");
Tematico Uso2007 ("LandUseCover");
Tematico Uso2009 ("LandUseCover");
Tematico Cruzamento ("Cruzamento");
//RecuperarPI's
Uso1987 = Recuperar (Nome= "Classif_LS_1987");
Uso1998 = Recuperar (Nome= "Classif_LS_1998");
Uso2002 = Recuperar (Nome= "Classif_LS7_2002");
Uso2005 = Recuperar (Nome= "Classif_LS_2005");
Uso2007 = Recuperar (Nome= "Classif_LS_2007");
Uso2009 = Recuperar (Nome= "Classif_AlosLS_2009-10");
//Cria cruzamento entre PI's
Cruzamento= Novo (Nome = "Cruzamento-87/09", ResX=30, ResY=30, Escala =
60000);
//Cria Tabela de Conflitos Ambientais pelo Uso da Terra
Cruzamento= Atribua
{
"ManutencaoFlorestal-87/09": (Uso1987.Classe == "Florestas" && Uso2009.Classe
== "Florestas"),
"ManutencaoFlorestal-87/09": (Uso1987.Classe == "Florestas" && Uso2009.Classe
== "Florestas"),

"Desflorestamento-87/09" : (Uso1987.Classe == "Florestas" && Uso2009.Classe ==
"Campos"),
"Desflorestamento-87/09" : (Uso1987.Classe == "Florestas" && Uso2009.Classe ==
"Agricultura"),
"Desflorestamento-87/09" : (Uso1987.Classe == "Florestas" && Uso2009.Classe ==
"Agricultura_Irrigada"),
"Desflorestamento-87/09" : (Uso1987.Classe == "Florestas" && Uso2009.Classe ==
"Solos_Expostos"),
"Desflorestamento-87/09" : (Uso1987.Classe == "Florestas" && Uso2009.Classe ==
"Lamina_Agua"),
"Reflorestamento-87/09" : (Uso2009.Classe == "Florestas" && Uso1987.Classe ==
"Campos"),
"Reflorestamento-87/09" : (Uso2009.Classe == "Florestas" && Uso1987.Classe ==
"Agricultura"),
"Reflorestamento-87/09" : (Uso2009.Classe == "Florestas" && Uso1987.Classe ==
"Agricultura_Irrigada"),
```

```
"Reflorestamento-87/09" : (Uso2009.Classe == "Florestas" && Uso1987.Classe ==  
"Solos_Expostos"),  
"Reflorestamento-87/09" : (Uso2009.Classe == "Florestas" && Uso1987.Classe ==  
"Lamina_Agua");  
}
```