

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

**ANÁLISE ESPACIAL DA EVOLUÇÃO DO USO E
COBERTURA DA TERRA NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO ARROIO ARENAL,
SANTA MARIA/RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Ana Caroline Paim Benedetti

Santa Maria, RS, Brasil

2006

**ANÁLISE ESPACIAL DA EVOLUÇÃO DO USO E
COBERTURA DA TERRA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA
DO ARROIO ARENAL, SANTA MARIA/RS**

por

Ana Caroline Paim Benedetti

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

2006

**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 ESPACIAL DA EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DA
TERRA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO ARENAL,
SANTA MARIA/RS**

elaborada por
Ana Caroline Paim Benedetti

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Rudiney Soares Pereira, Dr.
(Presidente/Orientador)

Enio Giotto, Dr. (UFSM)

Solon Jonas Longhi, Dr. (UFSM)
(Co-orientador)

Santa Maria, 30 de janeiro de 2006.

*À minha família
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, representado pelo Prof. Dr. Paulo Renato Schneider, pela participação e conclusão do Mestrado em Engenharia Florestal.

À CAPES, pelo auxílio financeiro concedido durante a realização deste curso.

Ao Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira, pela dedicação, confiança e ensinamentos transmitidos durante a orientação deste trabalho.

Ao co-orientador Prof. Dr. Solon Jonas Longhi, pelo aprendizado, disponibilidade e por acreditar na minha capacidade.

Ao Prof. Dr. Enio Giotto, pela atenção, disponibilidade e pela grande contribuição para minha formação científica e profissional.

Ao Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina, pela sabedoria prestada e pelas oportunidades de participação em projetos e pesquisas.

Ao Prof. Msc. Luiz Fernando Sangóí, pelo apoio e pelos valiosos conselhos.

À Prof. Dr. Claire Delfini Viana Cardoso, pela amizade e contribuição neste trabalho.

À Msc. Eng. Ftal. Marilice Garrastazú, pelos ensinamentos em Geoprocessamento.

À Secretária do PPGEF Cerlene Machado, pela amizade e auxílio prestado.

Aos funcionários do DER Ercelino, Nelson, Gerson, Nilton e Adilson, pelo apoio.

Aos meus pais Diomedes e Maria Carolina, aos meus irmãos Robledo e Kim e ao meu namorado Leandro, pela dedicação incansável e por compartilharem comigo esta realização.

Às minhas amigas Patrícia, Denise, Fernanda, Graziela, Andrea, Silviana e Elisete pelo estímulo, conforto e dedicação.

Aos amigos que fiz no laboratório de Geomática Juliana Refatti, Andréia, Marcelo, Tatiane, Gilfredo Castagna, Patric, Érica, Alexandre, Ítalo, Celso, Rogério Cassanta, Rogério Dalla Rosa, Luciano Sulzbach, Patricia, Dina, Catize, Marcos, Diana, Daniel e Douglas, pelo incentivo e companheirismo.

Aos colegas do NDGI Elvis, Cícero, Joel, Cristiano e Renata, pelo apoio e auxílio em determinadas etapas deste trabalho.

Ao Prof. Vanderlei Decian e ao funcionário Márcio, pela contribuição neste trabalho.

Aos colegas do PPGEF que de alguma forma contribuíram durante o curso.

“Um homem se torna sábio somente quando adquire três qualidades: não despreza quem está abaixo dele; não inveja quem está acima dele; e não comercializa o seu saber.”

(Provérbio oriental)

RESUMO

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

ANÁLISE ESPACIAL DA EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO ARENAL, SANTA MARIA/RS

AUTORA: ANA CAROLINE PAIM BENEDETTI

ORIENTADOR: PROF. DR. RUDINEY SOARES PEREIRA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 30 de janeiro de 2006.

Este trabalho investiga a dinâmica das classes de uso e cobertura da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal – RS, através da representação de processos espaço-temporais. Por meio de um conjunto de imagens multi-sensores, realizou-se a análise espacial de uma série temporal distinta entre as datas de outubro de 1995, maio de 2000 e janeiro de 2005, gerando informações representativas da paisagem e relacionando-as a diferentes aspectos sócio-econômicos, políticos e ambientais inerentes a sub-bacia em questão. A análise espacial parte da linguagem LEGAL implementada em um Sistema Geográfico de Informação, que possibilitou ainda o emprego de técnicas de processamento e classificação digital de imagens e a geração de mapas temáticos, tais como base cartográfica e declividade que complementaram a representação de cenários da área de estudo. A classificação digital das imagens de satélite foi realizada do modo supervisionado, utilizando-se o algoritmo classificador *Bhattacharya*, os dados gerados neste processo embasaram a análise espacial do uso e cobertura da terra, na qual foram definidos os principais parâmetros para avaliar a dinâmica da área de estudo: evolução florestal, evolução agrícola e evolução da regeneração. Entre os principais resultados, destaca-se a predominância dos campos na paisagem regional, ocupando 63,71% da área, e o grande avanço agrícola sobre estas áreas, quantificado no fim do período em 8.830,163 Ha, e ainda o acréscimo de áreas florestais em 6.276,749 Ha. A partir do mapeamento das Áreas de Preservação Permanente e dos conflitos ambientais ocasionados pelas práticas agrícolas em locais inadequados, foram delimitados 1.719,957 Ha como sendo áreas de reflorestamento prioritário. Conclui-se que a intensidade das atividades exploratórias na sub-bacia são responsáveis por várias mudanças ocorridas durante o período analisado.

Palavras-chaves: Geoprocessamento, Uso e Cobertura da Terra, Análise LEGAL

ABSTRACT

Master Dissertation
Pos-Graduation Program in Forest Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

SPATIAL ANALYSIS OF THE LAND USE AND COVER IN THE HYDROGRAPHIC SUBBASIN OF ARROIO ARENAL, SANTA MARIA/RS

Author: Ana Caroline Paim Benedetti
Advisor: Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira
Place and date of the defense: Santa Maria, January³⁰, 2006.

This work investigates the dynamics of the classes of land use and cover in the hydrographic subbasin of Arroio Arenal - RS, through the representation of space-time processes. Spatial analysis of a distinct time series among the dates of October of 1995, May of 2000 and January of 2005 through a set of multisensor images was performed. It has generated representative landscape information and related them to different socioeconomic, politic and enviromental aspects inherent to the Subbasin in question. The spatial analysis starts from the LEGAL language implemented in a Geographic Information System, which became possible the application of image processing and digital classification techniques and the generation of thematic maps, such as cartographic base and slope which have complemented the representation of scenes of the studied area. The digital classification of the satellite images was carried out in the supervised mode, using the *Bhattacharya* classifier algorithm. The generated data had supported the spatial analysis of the land use and cover, in which had been defined the main parameters to evaluate the dynamics of the studied area: forest evolution, agricultural evolution and regeneration evolution. Among the main results, it is highlighted the predominance of the fields in the regional landscape, occupying 63.71% of the area and the great agricultural advance on these areas, quantified at the end of the period in 8.830,163 ha and still the addition of forest areas in 6.276,749 ha. From the mapping of the Permanent Preservation Areas and the environmental conflicts caused by the agricultural practices in inadequate places, 1,719.957 ha had been delimited as priority reforestation areas. It is concluded that the intensity of the exploratory activities in the subbasin is responsible for many changes occurred during the analyzed period.

Key-words: Geoprocessing, Land use and cover, LEGAL Analysis

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Espectro eletromagnético.....	24
FIGURA 2 – Características de um SIG.....	35
FIGURA 3 – Representação das estruturas matricial e vetorial.....	36
FIGURA 4 – Localização da sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal.....	40
FIGURA 5 – Articulação das cartas topográficas.....	56
FIGURA 6 – Base cartográfica da sub-bacia do Arroio Arenal.....	73
FIGURA 7 – Banda 3 dos satélites LANDSAT 5 e 7.....	74
FIGURA 8 – Banda 4 dos satélites LANDSAT 5 e 7.....	74
FIGURA 9 – Banda 5 dos satélites LANDSAT 5 e 7.....	75
FIGURA 10 – Carta-imagem, composição BGR 3,4,5 da sub-bacia do Arroio Arenal em outubro de 1995.....	77
FIGURA 11 – Carta-imagem, composição BGR 2,3,4 da sub-bacia do Arroio Arenal em janeiro de 2005.....	77
FIGURA 12 – Representação das classes de uso e cobertura da terra e sua contribuição na área total da sub-bacia do Arroio Arenal em outubro de 1995.....	80
FIGURA 13 – Representação das classes de uso e cobertura da terra e sua contribuição na área total da sub-bacia do Arroio Arenal em maio de 2000.....	80
FIGURA 14 – Representação das classes de uso e cobertura da terra e sua contribuição na área total da sub-bacia do Arroio Arenal em janeiro de 2005.....	80
FIGURA 15 – Uso e cobertura da terra na sub-bacia do Arroio Arenal em outubro de 1995.....	84

FIGURA 16 – Uso e cobertura da terra na sub-bacia do Arroio Arenal em maio de 2000.....	85
FIGURA 17 – Uso e cobertura da terra na sub-bacia do Arroio Arenal em janeiro de 2005.....	85
FIGURA 18 – Representação das classes de declividade e sua contribuição na área total da Sub-bacia do Arroio Arenal.....	87
FIGURA 19 – Mapa clinográfico da sub-bacia do Arroio Arenal.....	89
FIGURA 20 – Mapa hipsométrico da sub-bacia do Arroio Arenal.....	89
FIGURA 21 – Representação da variação da cobertura florestal na sub-bacia do Arroio Arenal.....	90
FIGURA 22 – Cobertura florestal na sub-bacia do Arroio Arenal entre outubro de 1995 e maio de 2000.....	92
FIGURA 23 – Cobertura florestal na sub-bacia do Arroio Arenal entre maio de 2000 e janeiro 2005.....	92
FIGURA 24 – Áreas de conflitos de uso da terra na sub-bacia do Arroio Arenal em janeiro de 2005.....	94
FIGURA 25 – Áreas de reflorestamento prioritário na sub-bacia do Arroio Arenal em janeiro de 2005.....	94
FIGURA 26 – Representação da evolução florestal na sub-bacia do Arroio Arenal entre outubro de 1995 e janeiro de 2005.....	97
FIGURA 27 – Representação da evolução agrícola na sub-bacia do Arroio Arenal entre outubro de 1995 e janeiro de 2005.....	99
FIGURA 28 – Evolução florestal na sub-bacia do Arroio Arenal entre outubro de 1995 e janeiro de 2005.....	100
FIGURA 29 – Evolução agrícola na sub-bacia do Arroio Arenal entre outubro de 1995 e janeiro de 2005.....	100
FIGURA 30 – Evolução da regeneração para floresta na sub-bacia do Arroio Arenal entre outubro de 1995 e maio de 2000.....	102
FIGURA 31 – Evolução da regeneração para floresta na sub-bacia do Arroio Arenal entre maio de 2000 e janeiro de 2005.....	102
FIGURA 32 – Representação das classes de declividade x evolução florestal na sub-bacia do Arroio Arenal entre outubro de 1995 e janeiro de 2005.....	104
FIGURA 33 – Classes de declividade x evolução florestal na sub-bacia do Arroio Arenal entre maio de 2000 e janeiro de 2005.....	104

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Faixas espectrais e aplicações das bandas LANDSAT.....	30
TABELA 2 – Descrição da origem das bases de dados levantados.....	58
TABELA 3 – Classes de declividade do solo.....	63
TABELA 4 – Quantificação do uso e cobertura da terra em outubro de 1995, maio de 2000 e janeiro de 2005.....	79
TABELA 5 – Evolução para cada classe de uso e cobertura da terra nos períodos de outubro de 1995 a maio de 2000 e maio de 2000 a janeiro de 2005.....	79
TABELA 6 – Quantificação das classes de declividade do solo.....	86
TABELA 7 – Quantificação das classes hipsométricas.....	88
TABELA 8 – Quantificação da cobertura florestal para o período 1 (1995 – 2000).....	90
TABELA 9 – Quantificação da cobertura florestal para o período 2 (2000 – 2005)	90
TABELA 10 – Áreas de Preservação Permanente x conflitos de uso da terra..	91
TABELA 11 – Quantificação da evolução florestal entre outubro de 1995 e janeiro de 2005.....	95
TABELA 12 – Quantificação da evolução agrícola entre outubro de 1995 e janeiro de 2005.....	97
TABELA 13 – Quantificação da evolução da regeneração para floresta.....	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM/FM –	<i>Automated Mapping /Facility Management</i>
APPs –	Áreas de Preservação Permanente
BGR –	<i>Blue, Green, Red</i>
CADD –	<i>Computer Aided Drafting Design</i>
CAPES –	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCD –	<i>Charge Coupled Device</i>
CCS –	Centro de Controle de Satélites
CPRM –	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRC –	Centro de Rastreo e Controle
DPI –	Divisão de Processamento de Imagens
DSG –	Diretoria de Serviço Geográfico do Exército
ERTS-1–	<i>Earth Resources Technological Satellite-1</i>
ETM ⁺ –	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
FAO –	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FPP –	Floresta de Preservação Permanente
GPS –	<i>Global Position System</i>
IBGE –	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE –	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRMSS –	Imageador por Varredura de Média Resolução
LEGAL –	Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algebrico
LIS –	<i>Land Information System</i>
Mb –	<i>Megabyte</i>
Mhz –	Megahertz
MNT –	Modelo Numérico do Terreno
MSS –	<i>Multispectral Scanner</i>
NASA –	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>

PCDs –	Plataformas de Coleta de Dados
PI –	Plano de Informação
PIXEL –	<i>Picture element</i>
RBV –	<i>Return Beam Vidicom</i>
SBCS–	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIG –	Sistema de Informação Geográfica
SITER –	Sistema de Informação Territorial Rural
SPRING –	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SRTM –	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SUDESUL –	Superintendência de Desenvolvimento da Região Sul
TIFF –	<i>Tagged Image File Format</i>
TIN–	<i>Triangular Irregular Network</i>
TM –	<i>Thematic Mapper</i>
UFSM –	Universidade Federal de Santa Maria
UTM –	Universal Transversa de Mercator
WFI –	Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada
WRS –	<i>World Reference System</i>
µm –	Micrômetro

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Pontos de georreferência do mosaico de imagens.....	116
APÊNDICE B – Pontos de georreferência das imagens.....	117
APÊNDICE C – Programa em LEGAL para cobertura florestal.....	118
APÊNDICE D – Programa em LEGAL para conflitos de uso da terra.....	119
APÊNDICE E – Programa em LEGAL para evolução florestal.....	120
APÊNDICE F – Programa em LEGAL para evolução agrícola.....	121
APÊNDICE G – Programa em LEGAL para evolução da regeneração para floresta.....	123
APÊNDICE H – Programa em LEGAL para classes de declividade x evolução florestal.....	124

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Análise da dinâmica do uso e cobertura da terra	20
2.2 Sensoriamento Remoto	22
2.2.1 Produtos do Sensoriamento Remoto.....	24
2.2.2 Processamento digital de imagens.....	26
2.2.3 Satélites LANDSAT.....	28
2.2.4 Satélites CBERS.....	31
2.3 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas	33
2.3.1 Análise espacial e temporal.....	37
2.4 Bacia hidrográfica	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1 Localização e caracterização geral da área de estudo	40
3.2 Caracterização física da área	41
3.2.1 Geologia.....	41
3.2.2 Geomorfologia.....	43
3.2.3 Clima.....	44
3.2.4 Hidrografia.....	45
3.2.5 Vegetação.....	46
3.2.6 Solos.....	49
3.2.6.1 Alissolos.....	49
3.2.6.2 Argissolos.....	50
3.2.6.3 Chernossolos.....	50
3.2.6.4 Neossolos.....	51
3.2.6.5 Planossolos.....	52

3.3 Aspectos socioeconômicos	52
3.3.1 Síntese histórica da formação regional e processos de ocupação.....	52
3.3.2 Atividades econômicas.....	54
3.3.3 Características demográficas.....	55
3.4 Materiais	55
3.4.1 Material de laboratório.....	56
3.4.1.1 Material cartográfico.....	56
3.4.1.2 Material de processamento e análise.....	57
3.4.2 Material de campo.....	57
3.5 Metodologia	58
3.5.1 Elaboração da base de dados cartográficos.....	58
3.5.2 Georreferenciamento das imagens.....	59
3.5.3 Processamento digital de imagens.....	60
3.5.3.1 Segmentação de imagens.....	61
3.5.4 Classificação digital de imagens.....	62
3.5.5 Confecção de mapas temáticos.....	63
3.5.5.1 Mapa clinográfico.....	63
3.5.5.2 Mapa hipsométrico.....	65
3.5.6 Análise espacial em LEGAL.....	65
3.5.6.1 Mapas da cobertura florestal.....	66
3.5.6.2 Mapa de áreas de conflitos de uso da terra.....	67
3.5.6.3 Mapa de áreas de reflorestamento prioritário.....	68
3.5.6.4 Mapa de evolução florestal.....	69
3.5.6.5 Mapa de evolução agrícola.....	69
3.5.6.6 Mapas de evolução da regeneração para floresta.....	69
3.5.6.7 Mapa de classes de declividade x evolução florestal.....	70
3.5.7 Quantificação do uso e cobertura da terra.....	70
3.5.8 Edição final dos mapas.....	70
3.5.9 Reambulação temática.....	71
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
4.1 Mapa base cartográfica	72
4.2 Processamento digital de imagens	72
4.3 Classificação digital do uso e cobertura da terra	76
4.4 Mapa clinográfico	86

4.5 Mapa hipsométrico.....	87
4.6 Cobertura florestal.....	88
4.7 Áreas de Preservação Permanente (APPs) e conflitos de uso da terra.....	91
4.8 Áreas de reflorestamento prioritário.....	93
4.9 Evolução florestal.....	95
4.10 Evolução agrícola.....	97
4.11 Evolução da regeneração para floresta.....	101
4.12 Classes de declividade x evolução florestal.....	103
5 CONCLUSÃO.....	105
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108

1 INTRODUÇÃO

Em escala global, as mudanças nos padrões de uso da terra e na cobertura vegetal estão ocorrendo em passos acelerados, sobretudo nos trópicos. Tais mudanças nos ecossistemas terrestres, segundo Anderson et al., (2005), estão fortemente associadas aos processos de desenvolvimento socioeconômico, principalmente em países subdesenvolvidos, onde não se encontram planejamentos para a ocupação do território, nem projetos e estudos para explorar de maneira sustentável os recursos naturais. No Brasil, o processo de exploração agropecuária constitui a mais forte força de alteração da paisagem.

Esta questão, conforme Aguiar (2002) tem despertado interesse dentro e fora do meio científico, devido ao acelerado processo de mudança das últimas décadas e aos possíveis impactos ambientais e socioeconômicos, que causam preocupações desde o nível local até global.

No contexto mudanças globais, para uma melhor compreensão das interações dinâmicas entre sociedade e natureza, é necessário avançar nossa habilidade em analisar e prever o comportamento de sistemas auto-organizados, caracterizando impactos irreversíveis. A experiência contemporânea aponta para a necessidade de direcionar essas questões para esforços científicos integrados com foco nas características sociais e ecológicas de regiões e lugares específicos, como declarado no relatório do encontro de Friibergh, Suécia, em outubro de 2000, que propôs a criação da “Ciência da Sustentabilidade”.

Muitos países preocupados com o uso racional dos recursos naturais elegeram a bacia hidrográfica como Unidade de Gestão Ambiental, pois essa dispõe de elementos físicos, biológicos, socioeconômicos e também culturais das populações que ali se estabelecem. “A unidade ambiental Bacia Hidrográfica já está definida em Lei como a Unidade de área mais aconselhável para estudos e projetos, em todo o território nacional” (ROCHA & KURTZ, 2001, p.7).

Assim sendo, o monitoramento e o planejamento para o uso sustentável dos recursos hídricos são necessários em sociedades que fazem uso crescente de água e que tendem a ocupar a bacia hidrográfica de forma desordenada, inclusive avançando sobre áreas de preservação ou áreas impróprias para uso. Portanto, o gerenciamento desses recursos deve estar associado à gestão ambiental e ao

controle do uso do solo, uma vez que este influencia diretamente os recursos hídricos através das práticas agrícola, florestal e pela expansão urbana.

Com relação a esses estudos, Moreno (1972) menciona a importância do uso da terra como subsídio básico de planejamento, uma vez que a identificação de diferentes paisagens geográficas possibilita a previsão de ampliação de áreas agrícolas, seus respectivos problemas e soluções, determinando áreas prioritárias a serem utilizadas para o uso agropecuário.

Entre os padrões de uso e cobertura da terra, ressalta-se a importância da cobertura florestal existente em uma bacia hidrográfica, principalmente sob a forma de mata ciliar – formações vegetais hidrófilas – localizadas ao longo dos cursos d'água. Sua importância é abordada em trabalhos científicos que destacam seus benefícios com relação a aspectos físicos, econômicos e sociais.

As investigações acerca de mudanças no uso e cobertura da terra integram diversas ciências que buscam compreender a dinâmica das relações entre o homem e o meio em que está inserido. Uma dessas ciências é o Sensoriamento Remoto, que, aliado a técnicas de Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), permite avaliar, no espaço temporal, o uso dos recursos naturais, bem como realizar projeções dinâmicas do uso e cobertura da terra.

A inter-relação destas informações em sistemas computacionais, os SIGs, facilitam o gerenciamento de informações espaciais e permitem a elaboração de diagnósticos e prognósticos, subsidiando a tomada de decisões (JACINTHO, 2003).

Neste contexto, Sabins (1999) comenta que, quando o mapeamento do uso da terra estiver associado aos SIGs será possível conhecer a evolução da dinâmica espacial do uso da terra com a produção de séries temporais de mapas de uma mesma área, afirmando serem essas informações essenciais para o planejamento da maioria das atividades desenvolvidas em âmbito nacional, regional e municipal.

Uma das maiores vantagens desse tipo de estudo em relação aos realizados somente a campo, é que o que se perde na precisão dos dados, devido à impossibilidade de se realizarem levantamentos detalhados, é ganho na extensão e quantidade de áreas estudadas, custo, tempo e principalmente na capacidade de generalização dos resultados, como descrito por ESCADA & ALVES (2001).

Neste estudo, foram utilizados dados gerados por um conjunto de imagens multi-sensores, oriundas de Sensoriamento Remoto, integradas em SIGs, que possibilitaram a análise espacial com o objetivo geral de caracterizar a evolução dos

padrões de uso e cobertura da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal, Santa Maria/RS, através de uma série temporal distinta entre outubro de 1995, maio de 2000 e janeiro de 2005, gerando informações representativas da dinâmica da paisagem.

E, como objetivos específicos, têm-se:

- 1) Realizar o mapeamento temático dos recursos naturais da sub-bacia e ainda de atributos físicos como declividade.
- 2) Quantificar através de um mapa base-cartográfica, as redes viária e hidrográfica da sub-bacia.
- 3) Identificar transições nos padrões de uso e cobertura da terra através da classificação digital de imagens multitemporais.
- 4) Avaliar parâmetros como: evolução florestal, evolução agrícola e evolução da regeneração.
- 5) Localizar Áreas de Preservação Permanente da sub-bacia, de acordo com a Legislação vigente.
- 6) Relacionar os conflitos de uso da terra, ou seja, a existência de atividades exploratórias em áreas impróprias.
- 7) Determinar áreas de reflorestamento prioritário.
- 8) Identificar fatores humanos, como processo histórico de ocupação e atividades econômicas influentes no uso dos recursos naturais da sub-bacia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Análise da dinâmica do uso e cobertura da terra

Autores como Briassoulis (1999) e Turner et al. (1994) definem o termo *cobertura da terra* como sendo a caracterização dos estados físico, químico e biológico da superfície terrestre, como por exemplo, floresta, gramíneas, água, ou área construída; já, o termo *uso da terra* refere-se aos propósitos humanos associados àquela determinada cobertura, por exemplo, pecuária, recreação, conservação, área residencial.

Complementando esta definição, Turner & Meyer (1994 apud BRIASSOULIS, 1999) afirmam que uma única classe de cobertura da terra pode suportar múltiplos usos (por exemplo, extração madeireira, preservação de espécies, recreação em áreas de floresta), ao mesmo tempo em que um único sistema de uso pode incluir diversas coberturas (sistemas agropecuários que combinam áreas cultivadas, pastagens, áreas de reserva e áreas construídas). Os autores ainda observam que mudanças no uso da terra normalmente acarretam o mesmo na cobertura do solo; contudo, poderão ocorrer modificações na cobertura sem que isto signifique alterações em seu uso.

Para Novo (1998), o termo *uso da terra* refere-se à utilização “cultural” da terra, enquanto que o termo *cobertura da terra* ou “*land cover*” é entendido como seu revestimento. A autora exemplifica esta distinção através de áreas florestais, as quais, embora sejam um único tipo de cobertura, podem apresentar diferentes usos como lazer, reservas biológicas, exploração de madeira.

Em Alves et al. (2002), são citados alguns exemplos de *conversão de cobertura* da terra como processos de desflorestamento e desertificação verificados em estudos na Região Amazônica. Já *conversão de uso* o autor exemplifica como sendo a conversão de áreas florestais em agricultura e pecuária.

Quanto à modificação no uso da terra, Alves et al. (2002), dizem que ocorrem, em termos de *cobertura*, mudanças estruturais e funcionais causadas por fenômenos naturais e ou por ações humanas, como alterações na biomassa e na produtividade da vegetação. Em termos de *uso*, podem ocorrer intensificação ou mudanças nos seus atributos, por exemplo, em sistemas agrícolas, a ocorrência de intensificação, extensificação, marginalização e abandono de áreas.

Quanto às interações entre mudanças de cobertura e uso da terra, Aguiar (2002) afirma que elas podem influenciar a cobertura de três maneiras: (1) convertendo a cobertura; (2) modificando a sua função, estrutura e característica, sem propriamente causar uma mudança de tipo (por ex. intensificação); (3) mantendo a cobertura (contra agentes naturais de mudança). Segundo a autora, mudanças de cobertura ocasionadas por alterações de uso da terra não necessariamente implicam em degradação, e ainda, para entender estas mudanças, somente a classificação da cobertura não é suficiente, sendo necessário também caracterizar sua função (uso) e os agentes envolvidos.

No contexto que busca analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra, ou mesmo a dinâmica da paisagem, Soares-Filho (1998) propõe a aplicação do Geoprocessamento, através do mapeamento de padrões pelo Sensoriamento Remoto atuando em várias escalas temporais e da análise dessas relações espaciais obtidas armazenadas em um SIG, como forma de buscar a caracterização de paisagens distintas, bem como de desvendar os processos das quais resultaram.

No entendimento de Baca (2002), a classificação multitemporal de imagens torna possível analisar a dinâmica da paisagem e o modo como cada um de seus elementos interage em tal processo. Complementa ainda que talvez os dados mais fundamentais surjam de observações do estado de uma paisagem em dois períodos de tempo, por exemplo, através de mapas de cobertura da terra de imagens de satélite classificadas, obtidas para duas datas separadas de dez anos, observando-se que algumas das celas mudam de classe naquele intervalo de tempo.

Para Kronka et al. (2005) estudos que permitem o conhecimento e o controle da dinâmica das alterações constatadas dependem da comparação de levantamentos e quantificações efetuadas em diferentes períodos, ou melhor, do monitoramento no qual é feita uma comparação entre mapas elaborados a partir de imagens que permitem inferências retrospectivas na análise de séries temporais para conhecimento das razões históricas que deram origem às modificações eventualmente constatadas no presente.

Concluindo, com referência à dinâmica da paisagem, Almeida et al. (2003) consideram como um dos grandes desafios o desenvolvimento de técnicas e abstrações que sejam capazes de representar adequadamente fenômenos espaço-temporais inerentemente dinâmicos, como mudanças no uso e cobertura da terra.

2.2 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento Remoto é a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra e as suas mais diversas manifestações (NOVO, 1998, p. 2).

INPE (2005a) ainda define Sensoriamento Remoto como a “utilização de sensores para a aquisição de informações sobre fenômenos sem que haja contato direto entre eles”.

Um conceito clássico é dado por Lillesand & Kiefer (1994, p. 1), os quais afirmam que “o Sensoriamento Remoto é a ciência e arte de obter informação acerca de um objeto, área ou fenômeno, através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação”.

Conforme Silva (1995), o Sensoriamento Remoto teve seu crescimento lado a lado com a ciência da computação, a partir do final dos anos 50, devido à grande necessidade do programa espacial norte-americano nesse sentido. O desenvolvimento conjunto dessas tecnologias fez com que o Sensoriamento Remoto viesse a englobar, não apenas diferentes tipos de imagens e sensores, mas também, como o emprego de técnicas de processamento de imagens, propiciar a geração de uma gama de produtos bem mais variada que a oferecida até então pelas técnicas e sensores fotográficos tradicionais.

Novo (1998) diz que a complexidade das técnicas atuais faz com que cada vez mais um maior número de pessoas de diferentes áreas participe do processo de transformação da energia registrada pelo sensor em informação.

A autora divide o Sensoriamento Remoto em dois subsistemas importantes: subsistema de coleta de dados e subsistema de análise de dados.

O funcionamento do sistema de coleta de dados está condicionado a algumas questões: a existência de fonte de radiação, propagação da radiação pela atmosfera, incidência de radiação sobre a superfície terrestre, ocorrência de interações entre a radiação e os objetos da superfície e produção de radiação, que retorna ao sistema sensor após propagar-se pela atmosfera.

A intensidade de energia que chega ao sensor é posteriormente transformada em um sinal passível de interpretação por parte dos sistemas de análise de dados, que incluem o processamento fotográfico, o processamento eletrônico do sinal, a modelagem.

Os sistemas sensores, segundo Eastman (1998), podem ser divididos em dois grandes grupos: passivos ou ativos. Os sensores passivos medem níveis de fonte de energia existentes, enquanto os sensores ativos têm sua própria fonte de energia, como por exemplo, um *flash* fotográfico. A maior parte do Sensoriamento Remoto se utiliza de sensores passivos, para os quais o Sol é a principal fonte de energia. Porém, nem todos os sensores passivos usam a energia do Sol, alguns sensores no infravermelho termal e sensores de microondas passivos medem emissões de energia natural da Terra.

Para Lazzaroto (2005), os sensores captam informações resultantes da interação de energia eletromagnética com os objetos e fenômenos da superfície terrestre. Essa energia pode ser refletida, transmitida, absorvida ou emitida pela superfície e, a partir destas interações, derivar informações importantes sobre características físicas (dimensão, forma, temperatura, cor) e químicas (composição) dos alvos em estudo.

Todo o processo de aquisição de dados em Sensoriamento Remoto ocorre dentro de faixas do espectro eletromagnético (INPE, 2005a), o qual, por sua vez, é subdividido em faixas, representando regiões que possuem características peculiares em termos de processos físicos, geradores de energia em cada faixa, ou dos mecanismos físicos de detecção desta energia.

A energia eletromagnética, segundo Rocha (2000), é o meio através do qual os dados do objeto são transmitidos ao sistema sensor, transformando-se, através de sua frequência, intensidade e polarização, em informação. As interações entre a radiação eletromagnética e os objetos variam ao longo do espectro eletromagnético, conforme ilustra a Figura 1:

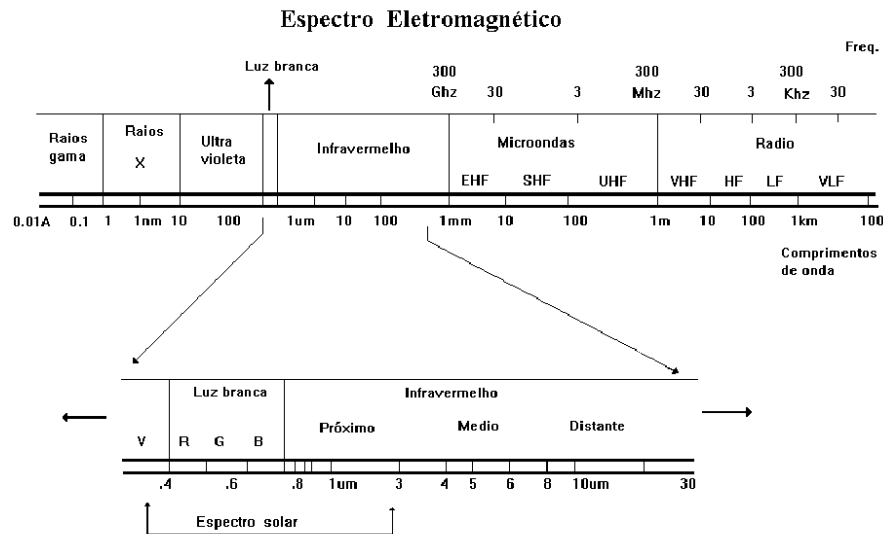


Figura 1 – Espectro eletromagnético.

Fonte: INPE, 2005a.

Entretanto, conforme Novo (1998) existem regiões do espectro eletromagnético para as quais a atmosfera é opaca, em que não é permitida a passagem da radiação eletromagnética. Essas regiões definem as “bandas de absorção da atmosfera”. Já as regiões de espectro eletromagnético em que a atmosfera é transparente à radiação eletromagnética proveniente do Sol são conhecidas como “janelas atmosféricas”.

2.2.1 Produtos do Sensoriamento Remoto

Um sistema sensor imageador produz uma imagem bidimensional da radiância, emitância ou retroespalhamento destas trocas energéticas, num determinado instante, naquele espaço físico, tornando-se apto a extrair informações sobre aquela região (ROCHA, 2000, p.117).

As imagens oriundas dos sistemas sensores possuem alguns parâmetros inerentes, como resolução (espacial, espectral, radiométrica, temporal) e largura da faixa imageada (ROCHA, 2000).

A *resolução espacial*, conforme Silva (1995), é definida como o “menor elemento de área que um sistema sensor é capaz de distinguir”. Ela determina se o alvo pode ser identificado na imagem em função de seu tamanho. Crósta (1992) afirma que esta resolução está diretamente relacionada com o tamanho do *pixel* da

imagem, ou seja, uma determinada quantia em metros quadrados de área no terreno que o sensor é capaz de imagear.

A *resolução espectral* é conceituada por Silva (1995) como sendo a menor porção do espectro eletromagnético que um sistema sensor é capaz de segmentar. Ela determina se o alvo pode ser visto na imagem em função de seu comportamento espectral. Quanto mais estreitas forem as bandas ou canais de um sistema, maior será sua capacidade de discriminar variações no comportamento espectral do alvo a ser estudado.

A *resolução radiométrica*, como definido pelo mesmo autor, é a menor diferença de brilho que um sistema sensor é capaz de perceber. Ela determina se o alvo pode ser visto na imagem em função de seu contraste com os alvos vizinhos. Esta resolução está relacionada ao número de níveis de cinza usados para expressar os dados coletados pelo sensor, considerando que, quanto maior o número de níveis de cinza, maior a resolução radiométrica.

Silva (1995) ainda conceitua *resolução temporal* como sendo a frequência com a qual um sistema sensor é capaz de imagear um mesmo alvo. Ela determina o período mínimo a ser aguardado para um novo imageamento de um determinado alvo. Esta resolução é importante para a identificação de processos que se modificam de forma dinâmica (fluxo atmosférico, crescimento de culturas, uso da terra), permitindo o monitoramento destes recursos.

A largura da faixa imageada, segundo Rocha (2000), ou largura da faixa de varredura, é uma característica que varia de acordo com o satélite imageador. O satélite LANDSAT, por exemplo, possui a largura da faixa de 185 km; já o satélite CBERS possui largura da ordem de 120 Km.

Quanto à constituição de uma imagem digital, Crósta (1992) considera que é formada por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou matriz. Cada elemento dessa matriz tem sua localização definida por um sistema de coordenadas tipo “linha” e “coluna”, representadas por “x” e “y”. A cada um desses elementos é dado o nome de *pixel*, derivado do inglês *picture element*. Para um mesmo sistema sensor, cada *pixel* corresponde a uma área de iguais dimensões na superfície terrestre. Cada *pixel* possui ainda um atributo “z” de reflectância de radiação solar nas diversas bandas eletromagnéticas do sistema de satélite. Esses valores são transformados em tons de cinza, resultando em imagem do terreno naquele comprimento de onda da banda selecionada (COSTA, 2000).

2.2.2 Processamento digital de imagens

O processamento digital de imagens é entendido por Rechiuti (1996), como a manipulação e análise de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens, sendo que a finalidade deste processamento é extrair informações de imagens e transformar essas informações de tal modo que sejam mais facilmente discerníveis.

Crósta (1992) complementa que o processamento digital de imagens trata especificamente das técnicas utilizadas para identificação, extração, condensação e realce da informação de interesse para determinados fins, a partir de uma enorme quantidade de dados que usualmente compõem essas imagens. O resultado desse processo é a produção de outras imagens contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas.

O objetivo do processamento digital de imagens, segundo INPE (2005a), é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos.

As técnicas de processamento de imagens podem ser classificadas em três grupos, conforme Novo (1998): técnicas de pré-processamento, técnicas de realce e técnicas de classificação.

O *pré-processamento* ou preparação das imagens, segundo a autora, refere-se ao conjunto de técnicas que permitem a transformação de dados digitais em dados corrigidos radiométrica e geometricamente.

No pré-processamento das imagens, estão incluídas as operações de correção radiométrica, que visam minimizar diferenças entre os níveis de cinza registrados por uma matriz de detectores, originados pela instrumentalização utilizada e pela influência da atmosfera (RICHARDS, 1993).

O *realce* de uma imagem, de acordo com Novo (1998), tem por objetivo melhorar a visualização da cena. A autora cita as técnicas de realce mais utilizadas:

- manipulação de contraste: usada para facilitar a discriminação visual de características da cena com baixo contraste;
- filtragem espacial: são transformações na imagem *pixel a pixel*, que não dependem apenas do nível de cinza de um determinado *pixel* da imagem original, mas também do valor dos níveis de cinza dos *pixels* vizinhos;

- rotação de imagens: é realizada através de transformações lineares e não-lineares dos *pixels* de uma cena, visando melhorar a visualização dos objetos de interesse.

A *retificação* de uma imagem digital, segundo Antunes (1996 apud MAZZA, 2000) constitui na correção geométrica, ou seja, na transformação das coordenadas da imagem (“x” e “y”) em coordenadas de mapa. Para este processo, também denominado de georreferência ou registro da imagem, são utilizados pontos de apoio de coordenadas conhecidas, facialmente identificadas na imagem.

A *classificação digital* de imagens consiste no estabelecimento de um processo de decisão no qual um grupo de *pixels* é definido como pertencente a uma determinada classe. Neste sentido, os sistemas computacionais auxiliam o usuário na interpretação das imagens orbitais (VENTURIERI & SANTOS, 1998).

Outra definição desta técnica é dada por Crósta (1992), o qual afirma que classificar imagens de Sensoriamento Remoto é associar a cada *pixel* uma informação qualitativa (atributo), na qual os valores de nível de cinza que cada *pixel* possui podem ser associados à reflectância dos materiais que compõem o terreno, estando cada *pixel* ou conjunto de *pixels* associados a uma classe ou tema.

Um processo auxiliar à classificação de imagens é a categorização ou rotulação dos valores dos níveis de cinza, que é feita utilizando-se algoritmos estatísticos de programas computacionais para o reconhecimento de padrões espectrais. De acordo com o algoritmo utilizado neste procedimento, a classificação é dita supervisionada ou não-supervisionada, envolvendo duas fases distintas: o treinamento e a fase de classificação propriamente dita (MOREIRA, 2003).

A classificação supervisionada foi o procedimento utilizado neste estudo, e será, portanto, abordada com maior detalhamento. No referido processo, torna-se necessária a tomada de amostras de treinamento para as classes temáticas. Richards (1993) indica um mínimo de $(N+1)$ amostras para cada classe, sendo o N o número de bandas que integram a imagem utilizada na classificação.

No processo de classificação supervisionada, utilizou-se o algoritmo “*Bhattacharya*”, ou a medida da distância de “*Bhattacharya*” usada neste classificador por regiões, para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais, ou melhor, a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais (PEREIRA et al., 2003). Os autores ainda acrescentam que a vantagem de um classificador por regiões sobre um classificador

por *pixel*, é que ele não se baseia apenas no valor digital do *pixel* em cada banda, como é o caso dos classificadores por *pixel*. O classificador por regiões, além do valor digital médio de cada região para cada banda, utiliza também a matriz de covariância como critério de decisão para a classificação da região.

Na classificação não-supervisionada, conforme Venturieri & Santos (1998), o algoritmo classificador baseia-se na análise de agrupamentos, no qual as classes são identificadas no espaço de atributos de nuvens (clusters) formadas por *pixels* com características espectrais similares. Neste caso, o computador é quem irá decidir, com base em regras estatísticas, quais as classes a serem separadas e quais os *pixels* pertencentes a cada uma delas, sendo, contudo, comum o algoritmo especificar um número de classes encontradas na área de estudo não-condizentes com a realidade. Para Richards (1993), deve-se então, através de um limiar estabelecido pelo analista, definir quais as concentrações de *pixels* devem ser tratadas como classes distintas.

Uma vantagem da classificação não-supervisionada, afirma Novo (1998), é que esta não requer conhecimento prévio da área de estudo por parte do analista, não havendo a necessidade, portanto, de ir a campo selecionar as amostras de treinamento.

2.2.3 Satélites LANDSAT

O Satélite LANDSAT teve origem na análise de dados multiespectrais adquiridos durante a missão Apolo 9 (plataforma espacial tripulada) e das observações fotográficas obtidas a partir dos vôos orbitais Mercury e Gemini (Silva, 1995). Conforme Rocha (2000), foi colocado em órbita em 1972, com o nome de *Earth Resources Techological Satellite-1* (ERTS-1), obtendo um desempenho tão significativo que foi transformado na série LANDSAT a partir de 1975.

Os modelos 1, 2 e 3 do LANDSAT eram equipados com um sensor *Return Beam Vidicom* (RBV), constituído de três câmaras espectrais, com uma resolução geométrica de aproximadamente 80 metros e de um sensor MSS (*Multispectral Scanner*), com quatro câmaras espectrais (duas no visível e duas no infravermelho próximo) e uma resolução também de 80 metros.

Em 1984, logo após o lançamento do LANDSAT-4, o mesmo foi desativado devido ao mal funcionamento, e a NASA lançou o LANDSAT-5, com um novo sistema sensor a bordo, o *Thematic Mapper* (TM), que incorporou uma tecnologia mais avançada que o MSS e passou a registrar dados em sete canais ou sete bandas espectrais (três no visível, um no infravermelho próximo, dois no infravermelho médio e um no infravermelho termal) com resolução espacial de 30 metros (exceto para o canal termal, que é 120 metros). Em 1994, houve uma tentativa de lançamento do LANDSAT-6, mas a plataforma não chegou a entrar em órbita, tendo caído no mar (SILVA, 1995).

Em continuação ao programa, o governo norte-americano lançou o satélite LANDSAT-7, em 15 de abril de 1999, que entrou em órbita com o sensor denominado *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) (NASA, 2005). Uma imagem LANDSAT-7 ETM+ é composta por 8 bandas espectrais que podem ser combinadas em inúmeras possibilidades de composições coloridas e opções de processamento. Entre as principais melhorias técnicas, se comparado ao satélite LANDSAT-5, destacam-se a adição de uma banda espectral pancromática com resolução de 15 metros, melhorias nas características geométricas e radiométricas e o aumento da resolução espacial da banda termal para 60 metros. Esses avanços tecnológicos habilitam o LANDSAT-7 para a geração de imagens de satélites com aplicações diretas até a escala 1:25.000.

Os satélites LANDSAT têm o mesmo período de revisita (16 dias), a mesma grade de referência (WRS-2) e a mesma área imageada (185 x 185 km por cena). A conservação destes parâmetros técnicos entre as séries facilita o processo de pesquisa de imagens, que pode ser feito com a mesma grade de referência e a perfeita integração no processamento das imagens do LANDSAT-7 com dados históricos do LANDSAT-5 existentes desde 1985, no caso de utilização de dados simultaneamente no mesmo projeto para a mesma área, como por exemplo, em um estudo multitemporal.

Cada banda desta série de satélites representa a resposta em uma faixa espectral, como definido por Rocha (2000). Na Tabela 1, estão descritas as aplicações potenciais para cada uma das faixas espectrais do LANDSAT.

Tabela 1 – Faixas espectrais e aplicações das bandas LANDSAT

Bandas	Intervalo espectral (µm)	Aplicações Potenciais
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 às nuvens e fumaça oriundas de queimada ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	0.53 – 0.61	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos d'água.
3	0.63 – 0.69	A vegetação verde, densa e uniforme apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta um bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado, floresta). Permite a análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluída a identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	0.78 – 0.90 -	Os corpos d'água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e o delineamento de corpos d'água. A vegetação verde densa e uniforme reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. 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	10.4 – 12.5	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	2.09 – 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. Favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: Rocha, 2000.

Com relação à combinação de bandas do satélite LANDSAT, (2005a) recomenda as seguintes combinações para composições coloridas:

Bandas 1, 2 e 3: imagens em cor natural, com boa penetração de água, realçando as correntes, a turbidez e os sedimentos. A vegetação aparece em tonalidades esverdeadas.

Bandas 2, 3 e 4: definem melhor os limites entre solo e água, ainda mantendo algum detalhe em águas profundas e mostrando as diferenças na vegetação, que aparece em tonalidades de vermelho.

Bandas 3, 4 e 5: mostram mais claramente os limites entre solo e água, com vegetação mais discriminada, aparecendo em tonalidades verde-rosa.

Bandas 2, 4 e 7: mostram a vegetação em tons verdes e permitem discriminar umidade, tanto na vegetação como no solo.

2.2.4 Satélites CBERS

Os governos do Brasil e da China assinaram em 06 de julho de 1988 um acordo de parceria envolvendo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Academia Chinesa de Tecnologia Espacial (CAST) para o desenvolvimento de dois satélites de Sensoriamento Remoto, denominado Programa *China-Brazil Earth Resources Satellite* (CBERS), ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres.

O primeiro satélite desenvolvido, o CBERS-1, foi lançado com sucesso pelo foguete chinês Longa Marcha 4B, no Centro de Lançamento de Taiyuan no dia 14 de outubro de 1999.

O segundo satélite, o CBERS-2, foi lançado com sucesso no dia 21 de outubro de 2003, partindo do Centro de Lançamento de Taiyuan, na China, sendo tecnicamente idêntico ao CBERS-1.

O Centro de Rastreamento e Controle de Satélites (CRC) é responsável pela operação do CBERS. Sua infra-estrutura é composta pelo Centro de Controle de Satélites (CCS), localizado em São José dos Campos – SP, e pelas estações terrenas de Cuiabá (MT) e de Alcântara (MA).

Quanto às características do CBERS-2, o satélite é composto por dois módulos: a “carga útil”, no qual são acomodadas as 3 câmeras: Câmera Imageadora de Alta Resolução ou *Charge Coupled Device* (CCD), Imageador por Varredura de Média Resolução (IRMSS), Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada (WFI) e o Repetidor para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais; e o “serviço”, que contém os equipamentos que asseguram o suprimento de energia, os controles, as telecomunicações e demais funções necessárias à operação do

satélite. Sua órbita é hélio-síncrona a uma altitude de 778 km, com cerca de 14 revoluções por dia, conseguindo obter a cobertura completa da Terra em 26 dias.

A seguir, são definidas algumas de suas aplicações, que são especificadas conforme sua composição:

A Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD), por possuir uma resolução espacial de 20 metros em quatro bandas espectrais mais uma pancromática, presta-se à observação de fenômenos ou objetos cujo detalhamento seja importante. Através de um campo de visada de 120 km, auxilia nos estudos municipais ou regionais. Pela frequência temporal de 26 dias, pode servir de suporte na análise de fenômenos de duração compatível com esta resolução temporal.

Suas bandas estão situadas na faixa espectral do visível e do infravermelho próximo, o que permite bons contrastes entre vegetação e outros tipos de objetos.

Destacam-se como aplicações potenciais da CCD: estudos da vegetação, agricultura, meio ambiente, água, cartografia, geologia e solos.

O Imageador por Varredura de Média Resolução (IRMSS) tem duas bandas espectrais na região do infravermelho médio e uma pancromática, com 80 metros de resolução espacial, mais uma banda na região do infravermelho termal com 160 metros. Suas aplicações são as mesmas da CCD, com as devidas adaptações, destacando-se: análise de fenômenos que apresentem alterações de temperatura da superfície, geração de mosaicos estaduais, geração de cartas-imagem.

O Imageador de Amplo Campo de Visada (WFI) pode imagear grandes extensões territoriais, superiores a 900 km. Essa característica o torna muito interessante para observar fenômenos cuja magnitude ou interesse seja nas escalas macrorregionais ou estaduais. Entre as aplicações, podem ser mencionadas: geração de mosaicos nacionais ou estaduais, geração de índices de vegetação para fins de monitoramento, monitoramento de fenômenos dinâmicos como safras agrícolas, queimadas persistentes, sistema de alerta em que a imagem WFI serve como indicativo para a aquisição de imagens de mais alta resolução da CCD ou do IRMSS, acoplamento a outros sistemas mundiais de coleta de dados de baixa a média resolução.

Os satélites CBERS-1 e CBERS-2 fazem parte do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais, o qual, baseado na utilização de satélites e plataformas de coleta de dados (PCDs) - pequenas estações automáticas, instaladas, geralmente, em locais remotos no território nacional - , objetiva fornecer

ao país dados ambientais diários coletados nas diferentes regiões do país (INPE, 2005b).

2.3 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas

Segundo Rocha (2000), com o advento da informática na automação de processos, surgiram várias ferramentas para captura, armazenamento, processamento e apresentação de informações espaciais georreferenciadas. A ligação técnica e conceitual dessas ferramentas levou ao desenvolvimento da tecnologia de processamento de dados geográficos denominada Geoprocessamento. O mesmo autor define Geoprocessamento como:

Uma tecnologia transdisciplinar, que através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados (ROCHA, 2000, p.210).

O objetivo principal desta ciência é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico, bem como as inter-relações entre diferentes fenômenos (CÂMARA & MEDEIROS, 1998). Dizem ainda que o uso de Geoprocessamento em projetos ambientais requer o emprego intensivo de técnicas de integração de dados. Para serem feitos de forma detalhista, requerem que o especialista em Geoprocessamento combine ferramentas de análise espacial, processamento de imagens, geoestatística e modelagem numérica do terreno.

Conforme FatorGis (2005), Geoprocessamento é constituído pelo conjunto de quatro categorias técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial:

- técnicas para coleta de informação espacial (cartografia, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global (GPS), topografia convencional, fotogrametria, levantamento de dados alfanuméricos);
- técnicas de armazenamento de informação espacial (Bancos de Dados – orientados a objetos, relacional, hierárquico);
- técnicas para tratamento e análise da informação espacial, como modelagem de dados, geoestatística, aritmética lógica, funções topológicas, redes;

- técnicas para o uso integrado de informação espacial, como os SIGs, *Land Information System (LIS)*, *Automated Mapping /Facility Management (AM/FM)* e *Computer Aided Drafting Design (CADD)*;

A definição de SIG, conforme FatorGIS (2005), também engloba aspectos já abordados na definição de Geoprocessamento, porém, agregam-se ainda os aspectos institucional, de recursos humanos (*peopleware*) e principalmente a aplicação específica a que se destina. Sendo assim, consiste num conjunto de ferramentas computacionais (equipamentos e programas) que, através de técnicas, permite a integração de dados, pessoas e instituições, possibilitando a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a disponibilização, a partir de dados georreferenciados.

Aranoff (1989) conceitua Sistemas de Informações Geográficas como sendo um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados, e ainda como um sistema de captação, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados.

O mesmo autor descreve que um SIG deve possuir os seguintes componentes: a) interface com o usuário; b) entrada e manipulação de dados; c) funções de processamento, visualização, armazenamento e recuperação de dados.

Já para Burrough & McDonnell (1998), os Sistemas de Informações Geográficas são um conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre um mundo real para um objetivo específico.

Para Câmara & Medeiros (1998), as principais características de um SIG são a capacidade de inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos do terreno; oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

Bolfe (2001) cita algumas atividades implementadas em SIGs: integração em uma única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e Modelo Numérico do Terreno (MNT); combinação de várias informações através de algoritmos de manipulação para a geração de mapeamentos derivados;

consulta, recuperação, visualização e desenho do conteúdo da base de dados geocodificados; superposição de informações temáticas das mais variadas áreas; estruturação de dados geo-ambientais, políticos, sociais e econômicos; definição do uso da terra ; avaliação da percentagem de cobertura temática (agricultura, florestas, campos, lâmina d'água, entre outras), em determinada região; determinação de locais para instalação de complexos industriais, portos, barragens, etc.; avaliação da tendência de crescimento urbano.

Atualmente, existe um grande número de SIGs, com variadas características em termos de tipos de estrutura de dados, modelos de banco de dados, sistemas de análise e outras (ROCHA, 2000). E, mesmo possuindo aplicações e funções diferentes, algumas características estão presentes na maioria dos aplicativos computacionais. A Figura 2 – Características de um SIG de Eastman (1997 apud ROCHA, 2000) apresenta as principais características ou módulos integrantes de um SIG.

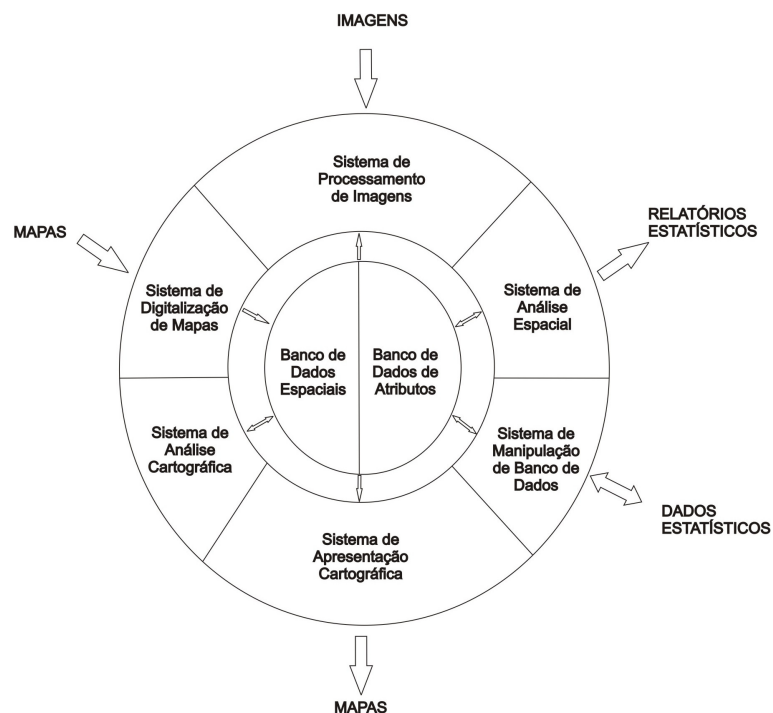


Figura 2 – Características de um SIG.

Fonte: Rocha, 2000.

Rocha (2000) ainda subdivide os dados utilizados em um SIG em dois grandes grupos: *dados gráficos, espaciais ou geográficos*, que descrevem as características geográficas da superfície (forma e posição), e *dados não-gráficos, alfanuméricos ou descritivos*, que descrevem os atributos das características.

Os *dados espaciais*, segundo o autor, podem ser representados em um SIG de duas formas distintas: vetor (*Vector*) e matricial (*Raster*).

No modelo vetorial, as entidades do mundo real são representadas graficamente sob a forma de pontos, linhas ou polígonos. Já no formato matricial, tem-se uma matriz de células, às quais estão associados valores, que permitem reconhecer o objeto sob a forma de uma imagem digital. Cada uma das células, denominada *pixel*, é endereçada por meio de suas coordenadas (linha, colunas). Cada *pixel* está associado a valores que serão sempre números inteiros e limitados, geralmente entre 0 e 255.

Abaixo, está ilustrada a representação de dados reais (mapa original) sob os formatos vetorial e matricial (Figura 3).

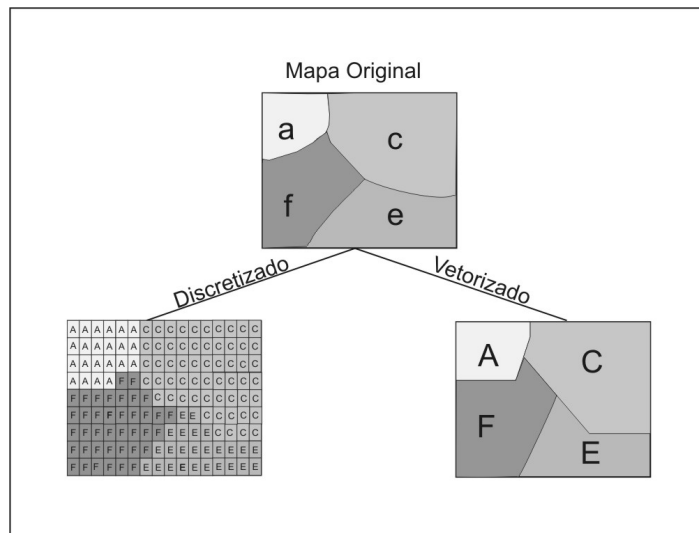


Figura 3 – Representação das estruturas matricial e vetorial.

Fonte: Rocha, 2000. (Adaptado pela autora)

Segundo o mesmo autor, os dados alfanuméricos ainda podem ser subdivididos em dois tipos: atributos dos dados espaciais e atributos georreferenciados. Os primeiros fornecem informações descritivas acerca das

características de algum dado espacial, estando ligados aos elementos espaciais através de identificadores comuns, normalmente chamados de geocódigos, que estão armazenados tanto nos registros alfanuméricos como nos espaciais. Já os atributos georreferenciados são dados em que a preocupação é apenas georreferenciar alguma característica específica, sem que sejam descritas as suas feições espaciais.

Neste contexto, também é necessário uma abordagem em relação aos tipos de mapas de dados geográficos. Segundo Ruhoff (2004), os mapas temáticos mostram uma região geográfica particionada em polígonos segundo valores relativos a um tema qualquer. Já os mapas cadastrais apresentam objetos identificáveis através de uma representação topológica.

2.3.1 Análise espacial e temporal

O que distingue um SIG de outros tipos de sistemas de informação são aquelas funções que possibilitam a realização de análises espaciais (geográficas). Tais funções utilizam os atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais; buscando fazer simulações (modelos) sobre os fenômenos do mundo real, seus aspectos ou parâmetros (INPE, 2005a).

Segundo Teles (2001), a análise espacial, por sua vez, é a habilidade de combinar dados espaciais de naturezas diversas, manipulando-os e aplicando-lhes técnicas (matemáticas, estatísticas, etc.) para se obter conclusões adicionais só evidentes com um estudo mais profundo e com uma espacialização dos dados.

Carvalho (1998 apud TELES, 2001) ainda conceitua análise espacial como sendo o estudo quantitativo de fenômenos que são localizados no espaço. Utiliza-se a expressão análise de dados espaciais em oposição à análise de dados em geral, quando as técnicas utilizadas consideram explicitamente a localização espacial.

Esta análise avalia a estrutura espacial do objeto, gerada por suas distintas dimensões. É um tipo de análise decorrente da aplicação dos conceitos de álgebra linear, os quais estão inseridos na análise fatorial que permite abordar o objeto de estudo a partir de novos ângulos, abrindo a perspectiva de se avaliar novas variáveis resultantes da combinação de suas dimensões. Nesta análise, aspectos (ou dimensões) antes desconexos e tratados independentemente, reúnem-se gerando uma forma única – a forma espacial. As novas variáveis (espaciais) resultantes deste

tipo de análise levam em consideração a constituição de toda estrutura. Desta forma, a análise espacial permite avaliar variáveis espaciais (áreas planas, volumes, níveis de desenvolvimento, formas.) que diferem, simplesmente, do perfil do objeto quando este é analisado como um conjunto de dimensões independentes (GIOVANI & TAMAYO, 2003).

Como descrito por Sabins (1999), o uso do Sensoriamento Remoto no mapeamento de uma determinada área propicia a realização de um inventário sistemático da superfície da terra, possibilitando a categorização dos diferentes usos em classes. Ainda segundo o autor, este mapeamento associado aos SIGs possibilita o conhecimento da evolução da dinâmica espacial do uso da terra com a produção de séries temporais de mapas para uma mesma área.

Segundo Soares-Filho (2005), a obtenção de mapas temporais da cobertura da terra e conseqüentemente um mapa multitemporal das mudanças nos permite identificar as tendências da dinâmica da paisagem na área de estudo, incluindo suas taxas líquidas e brutas para cada período analisado, como também a evolução dessas taxas através do tempo.

Alguns estudos já realizados no contexto análise espacial e temporal de dados geográficos são citados como exemplo:

Loch (1990) utilizou-se de imagens espaço-temporais para avaliar alterações em propriedades rurais, tanto na estrutura fundiária como no uso da terra e na rede viária regional, gerando a atualização cadastral.

Carvalho (2001) realizou estudos com séries temporais do satélite LANDSAT para mapear e monitorar remanescentes florestais na região do Vale do Alto Rio Grande-Minas Gerais em uma área de mata Atlântica Semidecidual.

Catelan (2002) realizou um mapeamento temporal do uso e cobertura da terra no município de Santa Margarida do Sul, RS, utilizando duas séries do LANDSAT-7.

Moreira et al. (2005) efetuaram uma análise temporal do uso do solo nos municípios do entorno do Parque Nacional das Emas com a utilização de imagens LANDSAT e CBERS-2.

Anderson et al. (2005) utilizaram dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento de uso e cobertura da terra na Região Amazônica.

2.4 Bacia hidrográfica

Tucci et al. (2003), consideram que uma das maiores preocupações em nível mundial é a degradação ambiental ocasionada pelo uso intensivo do solo rural e pelas práticas agrícolas, que favorecem a camada fértil do solo com conseqüente assoreamento de rios e lagos. Estes solos empobrecidos, por sua vez, são recuperados pela adição de componentes químicos que poluem os rios. E a bacia hidrográfica, que é sujeita às práticas agrícolas, passa por diferentes fases do uso da terra, sendo que a ocorrência de precipitações intensas por vezes coincidem com épocas de solo desprotegido.

Um conceito desta unidade é definido por Tucci et al. (1995, p. 29) “a bacia hidrográfica compõem-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no exutório”.

Para uma sub-bacia hidrográfica, unidade de área deste estudo, Rocha & Kurtz (2001), conceituam como sendo uma área delimitada por um divisor de águas que drena as águas de chuvas por ravinas, canais e tributários, para um curso principal, com vazão efluente, convergindo para uma única saída e desaguando diretamente em outro rio; As sub-bacias hidrográficas têm dimensões superficiais que variam entre 20.000 Ha e 300.000 Ha.

Os mesmos autores ainda propõem projetos integrados em bacias hidrográficas como uma solução viável para a recuperação florestal e ambiental no Brasil. Aí se encontram também soluções para o controle de erosões, enchentes, secas, assoreamentos de rios e lagos, cadeia alimentar, qualidade de vida das populações e muitos outros problemas ambientais.

Kurtz (2002) verifica continuamente que a deterioração física, sócio-econômica e ambiental é hoje uma realidade constante nas bacias, sub-bacias e microbacias hidrográficas do Brasil.

Conforme Costa (2000), para o uso criterioso desta unidade faz-se necessário, inicialmente o levantamento de suas características físicas. A utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto, por exemplo, aumenta o rendimento desses levantamentos, podendo-se fazer uso desde fotografias aéreas até imagens orbitais, conforme o detalhamento exigido pelo projeto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização geral da área de estudo

A área de estudo é a sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal, pertencente a bacia hidrográfica do Rio Vacacaí, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Está localizada entre as coordenadas geográficas $29^{\circ}37'18''$ e $29^{\circ}54'25.5''$ de latitude sul em relação ao Equador e $54^{\circ}06'23.7''$ e $53^{\circ}36'40.4''$ de longitude oeste em relação ao Meridiano de Greenwich, correspondendo, no Sistema UTM – Projeção Universal Transversa de Mercator – às coordenadas 6719700 e 6688400mN e 779850 e 246800mE, respectivamente. Abaixo está esquematizada a localização da área de estudo no Rio Grande do Sul, no Brasil e na América do Sul (Figura 4).

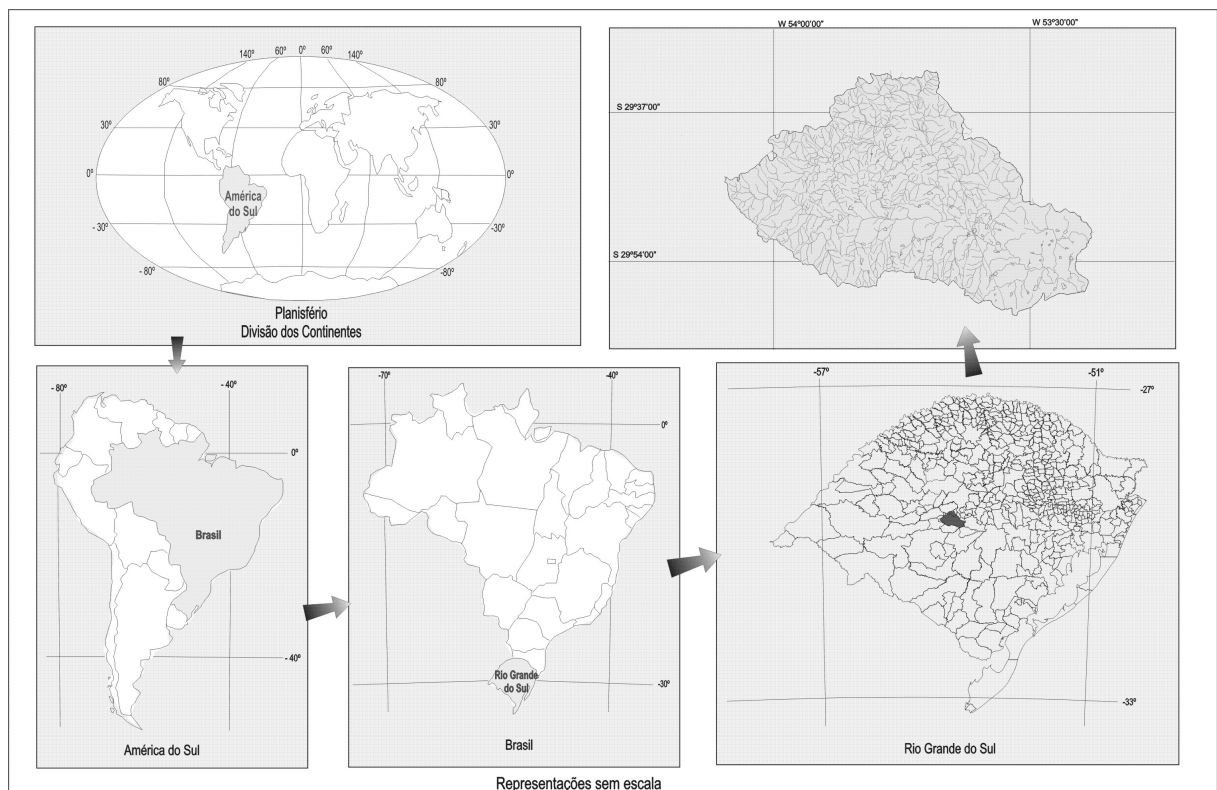


Figura 4 – Localização da sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal.

Está limitada ao norte com a sede do município de Santa Maria, a nordeste com o bairro Camobi, a oeste e sudoeste com o distrito de Santa Flora, a leste com

o município de Restinga Seca e ao sul com o rio Vacacaí, que faz a divisa entre os municípios de Santa Maria e São Sepé.

Compreende uma área territorial 850,08 Km², sendo que cerca de 29,62 Km² correspondem à área urbana do município de Santa Maria, que de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2005), possui uma extensão territorial de 1.780 Km². A sub-bacia do Arroio Arenal compreende, portanto, aproximadamente 47,76% da área total do município de Santa Maria.

As formas de uso e ocupação do solo são consideravelmente diversificadas, destacando-se, na área urbana de Santa Maria, o distrito industrial e o depósito de resíduos sólidos, ainda áreas de cultivos agrícolas, pecuária e atividades de extração mineral, principalmente de areia (OSÓRIO, 2002).

3.2 Caracterização física da área

3.2.1 Geologia

A sub-bacia do Arroio Arenal situa-se sobre os sedimentos continentais da Bacia do Paraná, de idade triássica-jurássica (Depressão), e sobre as rochas vulcânicas (Planalto) que constituem o “fechamento” da referida bacia. Os sedimentos fazem parte das formações Rosário do Sul, Santa Maria e Botucatu, enquanto as rochas vulcânicas são pertencentes à formação Serra Geral. Os primeiros são constituídos por sedimentos arenosos (Formação Rosário do Sul, parte basal da Formação Santa Maria e Formação Botucatu) e por sedimentos finos, representados por lamitos, pertencentes à parte superior da Formação Santa Maria, as segundas são representadas por substâncias básicas (basalto), inclusive ácidos (riodacitos) (BERTOLDO, 2002).

A Formação Santa Maria, segundo Medeiros (1980), é constituída pelos membros Passo das Tropas (inferior) e Alemoa (superior). O primeiro é constituído, predominantemente, por arenitos grosseiros e médios, de cores amarelas e rosa-avermelhadas, às vezes com tonalidade púrpura, feldspáticos, por vezes conglomeráticos, com seixos e grânulos de quartzo, constituindo corpos lenticulares com estratificação cruzada acanalada e planar de grande porte. Esses arenitos se

intercalam com camadas de siltitos arenosos de cor vermelho púrpura, indicativos de ambientes fluviais.

O membro Passo das Tropas é constituído por sedimentos essenciais arenosos até pelitos vermelhos, está mais bem representado em cortes de estradas em especial ao longo da estrada de rodagem Santa Maria - São Sepé.

O membro Alemoa, que representa a parte superior da Formação Santa Maria, é constituído essencialmente por siltitos argilosos, maciços (lamitos), de cor vermelho tijolo, com concreções e sub-horizontais. As melhores exposições estão ao longo das estradas de rodagem e de ferro.

Quanto à espessura da formação Santa Maria, Medeiros (1980), admitiu um total de aproximadamente 80 metros, dos quais 23 metros são referentes ao membro Passo das Tropas e 50 metros ao membro Alemoa.

No que se refere à cronologia, estudos baseados nos tipos de fósseis presentes indicam uma idade triássica superior para a Formação Santa Maria.

A formação Rosário do Sul topograficamente apresenta-se formando coxilhas alongadas, com relevo pouco acentuado. É constituída por arenitos vermelhos com tonalidades que variam desde escuras até claras. Não são raras as colorações amarelas e esbranquiçadas, possuindo estratificações acanaladas e planares de origem fluvial.

A litologia desta formação é caracterizada por arenitos de granulometria média, fina e muito fina, algumas vezes siltitos, friáveis ou pouco litificados.

As áreas de ocorrência de depósitos cenozóicos, representados por sedimentos aluviais, acompanham as margens dos arroios e seus afluentes. Os sedimentos são representados por cascalho, areia, siltes e argilas fluviais.

Deve-se ressaltar que a ocorrência destes minerais na área de estudo está diretamente ligada à degradação dos recursos hídricos, em consequência das atividades exploratórias ao longo dos mesmos. Dentre os minerais que são lavrados na área de estudo são necessárias caracterizações:

Segundo Spiazzi & Trapp (1999), uma das atividades de mineração mais significativas na Depressão Periférica, em especial na sub-bacia do Arroio Arenal, é a extração de areia. Esse produto não-renovável é um dos minerais industriais mais consumidos pela sociedade, pelo fato de ser utilizado na construção civil. São encontradas lavras dos leitos de rios, lavra em cava seca e lavra em cava submersa.

Após a exploração da areia, que é um recurso natural, a área alterada passa por um estágio de fragilidade ambiental, sendo que esse ecossistema pode ser recuperado sob uma nova condição de equilíbrio. As maiores alterações no meio físico provocadas por lavras de areia são desmatamentos, remoção do solo, cavas abandonadas, alteração dos cursos d'água, poluição das águas (material fino em suspensão) e assoreamentos.

3.2.2 Geomorfologia

A sub-bacia do Arroio Arenal ocupa a parte central do Estado do Rio Grande do Sul e tem a sua área inserida no compartimento geológico-geomorfológico da Depressão Periférica, sendo limitada ao extremo norte pelo Rebordo do Planalto Meridional da Bacia Vulcânica do Paraná, em que se destacam respectivamente afloramentos de rochas sedimentares (de origem eólica e fluvial do Permo-Triássico) e rochas vulcânicas do período Juro-Cretáceo, apresentando ambos os sistemas grande importância aquífera, pois são integrantes do Sistema Aquífero Guarani, e limitada ao sul pelo Escudo Sul-Riograndense.

A morfologia configura-se num relevo homogêneo, caracterizado por coxilhas suaves que atingem altitudes em torno de 60 m em relação ao nível médio do mar.

De acordo com Pereira et al. (1989), o Arroio Arenal faz parte do compartimento fisiográfico chamado "Planícies Aluvionais da Depressão Periférica", caracterizado pelos sedimentos recentes trazidos das áreas mais elevadas do Planalto e do Escudo Sul-Riograndense, onde nascem os principais rios que drenam essas unidades. Estes depósitos ocupam uma área considerável no município de Santa Maria. O relevo neste compartimento caracteriza-se pela suavidade, sendo que as várzeas atingem altitudes em torno de 40 a 60 m, estabelecendo-se uma diferença média de 2 a 10 m entre a calha do rio e a várzea e coxilhas de cotas altimétricas variando de 60 a 140 m. Observam ainda os autores que a paisagem que aparece na área de estudo não apresenta grande variação altimétrica.

Geomorfologicamente, os sedimentos distribuem-se em faixas mais ou menos estreitas (entre 2 km e 20 km), com orientação aproximadamente leste-oeste. Com

exceção da Formação Botucatu, apresentam-se em colinas suaves, com fracos desníveis entre os interflúvios¹ e os talvegues².

3.2.3 Clima

O clima da Região Sul do Brasil é resultante da atuação de várias correntes de ar ou massas de ar que compõem a circulação geral da atmosfera.

Oliveira & Ribeiro (1986) descrevem como sendo três massas de ar que atuam no sul do Brasil de forma intensa: Massa Tropical Atlântica, Massa Polar Atlântica e Massa Tropical Continental.

Conforme Moreno (1961), baseado na classificação de W. Köppen, o clima predominante na sub-bacia do Arroio Arenal é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical úmido, com chuvas regulares em todos os meses do ano. Os índices anuais de precipitação pluviométrica variam de 1.500 mm a 1.750 mm, sendo os meses de maio, junho e setembro os mais chuvosos, enquanto novembro e dezembro são os meses mais secos (CPRM, 2005).

A temperatura média anual é de 19,2°C, com uma amplitude térmica de 10°C. Apresenta invernos frios, com temperaturas entre 13°C e 15°C, e verões quentes, sendo que a temperatura média do mês mais quente é superior a 24°C. A média das máximas situa-se entre 28°C ao norte e 32°C nas altitudes menores ao sul.

A umidade relativa do ar permanece em torno de 72%, alcançando valores mínimos de 64% nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Estima-se para a região uma evapotranspiração da ordem de 47% da precipitação média, sendo os aquíferos alimentados no intervalo de abril-setembro, havendo depleção³ num longo período (outubro-março), quando os aquíferos complementam a vazão dos rios (CPRM, 2005). Os ventos são predominantes de leste e sudeste, atingindo cerca de 15 km/h. Os mais intensos são provenientes do quadrante norte e noroeste, e os mais frios são os ventos que sopram do sul e sudoeste.

¹ Interflúvio: Zona cumeada que divide topograficamente as nascentes de duas bacias de drenagem.

² Talvegue: Linha sinuosa no fundo de um vale, por onde correm as águas que dividem os planos de duas encostas.

³ Depleção: Período de escassez de água nos rios, fontes, etc. Estiagem.

Segundo Pereira et al (1989), o clima predominante sofre influência das massas e frentes polares responsáveis pelas baixas temperaturas e chuvas frontais e, mais esporadicamente, sofre influência de frentes quentes.

3.2.4 Hidrografia

O Estado do Rio Grande do Sul possui duas grandes bacias hidrográficas: a do Rio Uruguai e a do Atlântico Sul. Na Bacia do Atlântico Sul, encontra-se a região hidrográfica do Guaíba, formada pelos tributários e cursos d'água que drenam e desembocam no lago Guaíba, junto à região metropolitana de Porto Alegre. Nesta região estão localizados 251 municípios do Estado, distribuídos em 8 sub-bacias que recebem as seguintes denominações, conforme o Sistema Estadual dos Recursos Hídricos, em função do maior rio que drena a sua área física e que passam a constituir as unidades regionais de planejamento: Vacacaí, Pardo Baixo-Jacuí, Lago Guaíba, Gravataí, Sinos, Caí, Taquari-Antas e Alto-Jacuí – a nascente do rio Jacuí, que é responsável por 85% das águas que formam o Lago Guaíba, localizada em Passo Fundo, segundo Pró-Guaíba (2005), sobre a unidade geomorfológica do Planalto Meridional, numa altitude aproximada a 730 m. Este rio desce o Planalto no sentido norte-sul até sua confluência com o rio Vacacaí, na região correspondente ao município de Cachoeira do Sul. Os principais cursos d'água contribuintes do rio Jacuí são, na margem direita, os rios Jacuí-Mirim, Ivaí, Soturno, Vacacaí-Mirim e Vacacaí, e, em sua margem esquerda, os rios Jacuízinho, Arroio Curupá, Arroio São Bento e Arroio Porongos.

Os cursos d'água que drenam a sub-bacia do Arroio Arenal pertencem à bacia hidrográfica do rio Vacacaí, que, por sua vez, faz parte do sistema hídrico do rio Jacuí, que deságua no rio Guaíba, desembocando na Lagoa dos Patos e finalmente no oceano Atlântico. A área em estudo pertence ao Comitê de Bacias Hidrográficas G60 dos rios Vacacaí e Vacacaí Mirim, criado em 28/07/1999, pelo decreto estadual n°39.639.

O rio Vacacaí nasce no Escudo Sul-rio-grandense, sendo que a maior parte de seu percurso está na região morfológica da Depressão Central. Esta rede hidrográfica que banha os aluviões e é alimentada pelas vertentes da área da sub-

bacia do Arroio Arenal, drena os compartimentos da Depressão Central e Escudo Sul-Riograndense, possuindo regime equilibrado, com chuvas mensais regulares.

Os principais afluentes são os Arroios Coitado, Capivara, Passo das Tropas, Cadena e Raimundo na margem superior, Sarandi e Laranjeira na margem inferior.

A rede de drenagem perfaz um comprimento total de 1219,89 km de extensão, sendo constituída de arroios perenes e intermitentes.

O arroio principal desta sub-bacia é o Arroio Arenal, que percorre 58,19 km do seu nascedouro até a foz, tendo sua orientação predominante no sentido oeste para leste. O padrão da drenagem na sub-bacia, conforme Pereira et al. (1989), é do tipo dendrítico, associado a estrutura litológica e a uma topografia plana, representando um arranjo espacial da drenagem de densidade média. A ordem dos cursos d'água nos dá a indicação do grau de desenvolvimento da rede de drenagem. Neste caso, o Arroio Arenal é de quinta ordem, apresentando uma drenagem bem desenvolvida.

3.2.5 Vegetação

Viera (1984) descreve o estágio atual da cobertura vegetal do Rio Grande do Sul, como sendo constituída da seguinte maneira:

- Campos com capões: capões são matas com contorno arredondado ou oval de fisionomia compacta, sendo que sua estrutura diferencia-se de acordo com a região de ocorrência. No escudo Sul-rio-grandense e na campanha, são encontrados principalmente *Luehea divaricata* Mart. et Zucc. (açoita-cavalo), *Zanthoxylum* spp. (espinilhos ou mamica de cadela), *Salix humboldtiana* Willd. (salgueiro), *Ficus luschnathiana* (Miq.) Miq. (figueira) *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. (canjerana), *Cedrella fissilis* Vell. (cedro).

- Campos com parques: é encontrada em grandes manchas a sul do Escudo, entre Piratini e Erval, aparecendo em outras áreas de forma mais esparsa. Sua composição florística é semelhante aos matos nativos com açoita-cavalo, espinilhos, salgueiro, *Acacia caven* (Mol.) Mol. (espinilho), *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. (aroeira-brava), *Schinus molle* L. (aroeira-salsa) e *Myrsine umbellata* Mart. (capororocão).

- Campos com matas nativas: na sua constituição arbórea, encontram-se espinilhos, açoita-cavalo, *Nectandra* spp. (canelas), salgueiro, cedro, figueira, canjerana,

Tabebuia spp. (ipês), lianas e epífitas, alecrim, *Parapitadenia rigida* (Benth.) Brenan (angico), *Apuleia leiocarpa* (Vogel.) J. F. Macbr. (grápia), *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. (louro), *Patagonula americana* L. (guajuvira), *Phytolacca dióica* L. (umbú) e todas as espécies típicas da Floresta Estacional Decidual, sendo a mais nítida formação florestal ao sul do Vacacaí-Jacuí. Nas áreas de campo, são comuns as palmeiras associadas às gramíneas, entre os elementos arbóreos mais encontrados estão: *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg (guabiroba), *Syagrus romanzoffian* (Cham.) Glassman (jerivá), cedro, louro, *Pisonia ambígua* Heimerl (maria-mole) e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (timbaúva).

- Campos e matas galerias: a densa malha hidrográfica do Rio Grande do Sul interage com os diferentes geossistemas com um componente importante, as formações vegetais do tipo galeria, encontradas nos fundos dos vales e nas planícies aluviais devido à concentração de umidade, servindo como condições físicas necessárias para o desenvolvimento das etapas subarbustivas, arbustivas e arbóreas. Ao longo dos pequenos arroios, a vegetação ciliar adquire feições palustres, emaranhando-se na parte superior, envolvendo ambas as margens. As espécies arbóreas das matas galerias repetem outros tipos de formações vegetais, tais como espinilhos, açoita-cavalo, salgueiro, figueira, canjerana, canelas, sarandis (*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.), *Acacia bonariensis* Gill. ex Hook. et. Arn. (unha-de-gato), *Myrciaria tenella* (DC.) O. Berg (camboim), *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L. B. Sm. et & Downs (branquilho), aroeira e *Enrygium* spp. (gravatás).

Na área de estudo, são comuns campos com chirca e manchas de *Baccharis* spp. (carquejas), touceiras de macega e *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. (vassouras-vermelhas), espécies comuns nos campos sujos. A chirca é considerada erva daninha nos campos rio-grandenses e, nos campos limpos, predominam as gramíneas.

Na campanha sudoeste, a vegetação campestre é ricamente constituída por variedades de compostas, predominando os gêneros *Eupatorium*, *Vernonia*, *Lucilia*, *Pterocaulon*, *Achyrocline*, *Gnaphalium* e leguminosas dos gêneros *Lupinus*, *Desmodium* e *Adesmia*. As gramíneas mais comuns são: *Paspalum*, *Panicum*, *Erianthus*, *Elionorus* e *Andropogon* (Vieira, 1984).

- Floresta galeria: aparece ao longo dos cursos d'água, rios, arroios ou córregos, a vegetação se adensa nas margens, caracterizando-se em um tipo particular de formação vegetal. Para Vieira (1984), são as florestas, as matas ou os capões

galerias ou ciliares. Estas formações estão ligadas à maior umidade do solo, seja pela presença do rio ou de fontes de água subterrânea.

Conforme Brena e Longhi (2002), a área de estudo enquadra-se na região fitogeográfica das Florestas Estacionais Deciduais, caracterizadas por serem tipicamente ombrófilas, que avançaram sobre os campos e sobre as matas de araucárias. Apresentam uma grande quantidade de indivíduos, com extratos que variam desde espécies herbáceas até espécies com mais de 30 metros de altura. Os autores destacam ainda que ocorrem na área espécies comuns das formações secundárias, todas especializadas na colonização de clareiras. Dentro da área as espécies estão distribuídas conforme a aptidão dos ambientes naturais. Três tipos de formação podem ser encontrados: formações aluviais, formações submontanas, que compreendem terrenos ondulados e dissecados, e formações montanas, que abrangem áreas com altitude superior a 400 metros.

No município de Santa Maria, com foco na sub-bacia do Arroio Arenal, são observadas duas formações vegetais típicas. A primeira é a Floresta Estacional Decidual, encontrada no Rebordo do Planalto (Serra Geral). Essa formação florestal, no município, enquadra-se na área de desmatamento médio, ou seja, de 13,87% conforme dados de 1978 da SUDESUL citados por Moreira e Costa (1982). Esse índice é motivado principalmente pelo desmatamento ao longo das vertentes para fins de exploração agrícola, interesses econômicos e imobiliários.

Outra formação típica são os campos, que ocupam a maior parte do município e são caracterizados por espécies rasteiras, tipo pradaria, com predomínio de gramíneas às vezes associadas a capões, pequenos núcleos de árvores de forma mais ou menos circular ou oval, e matas galerias, que, segundo Pereira et al. (1989), são formações com espécies semelhantes à das florestas subtropicais.

Como estas áreas são favoráveis às atividades agrícolas e pastoris, ocorrem devastações tanto nos capões quanto nas matas ciliares. Essa forma de vegetação é importante não só para a conservação dos solos junto às margens dos cursos d'água, como também para o equilíbrio do regime hídrico. A retirada dessa vegetação favorece a aceleração do processo de erosão e assoreamento dos rios.

3.2.6 Solos

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS), de 1999, na região da sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal, são encontrados os seguintes tipos de solos (Streck et al., 2002):

3.2.6.1 Alissolos

Os Alissolos, comuns na região da Depressão Central, são medianamente profundos a profundos, originados principalmente de siltitos e arenitos, de textura média. Ocorrem em relevo suavemente ondulado, ocupando coxilhas em cotas intermediárias entre Argissolos Vermelhos em cotas mais altas e Planossolos nas várzeas.

São solos com acidez elevada na maior parte do perfil, estabelecendo uma condição de baixa fertilidade química e elevada toxidez por alumínio para as plantas que possuem sistema radicular profundo, o que condiciona a concentração das raízes no horizonte A. A profundidade do sistema radicular da vegetação nativa nos diferentes solos depende também da altura do lençol freático e sua flutuação em função das condições de disponibilidade hídrica e profundidades físicas do solo e do material mineral da rocha matriz.

Já as limitações físicas relacionam-se com a drenagem imperfeita e susceptibilidade à erosão. Problemas com a drenagem resultam em encharcamento do solo em períodos de chuva prolongados, sendo este outro fator que limita o aprofundamento e manutenção do sistema radicular além do horizonte A.

Classe: Alissolo Hipocrômico argilúvico típico (APt 2)

Unidade de mapeamento: Santa Maria.

Antiga classificação: Brunizem Hidromórfico textura média.

Sob condições de pastagem nativa, vegetação predominante na sua área de ocorrência, as raízes são “abundantes” no horizonte A até 40 cm e “poucas” no horizonte A/B de 40 até 55 cm de profundidade.

3.2.6.2 Argissolos

O termo Argissolo deriva da presença de um horizonte subsuperficial mais argiloso no perfil. São geralmente profundos a muito profundos, bem drenados e podem ser originados a partir de rochas eruptivas, como os basaltos e granitos, ou de arenitos e outros sedimentos. A limitação física refere-se à textura, espessura da camada arenosa (que promove rápida infiltração de água), com mudanças abruptas (arênico e espessarênico), ou só mudança abrupta (abruptico). A declividade do relevo interfere na erosão hídrica e no potencial de uso, pois ocorrem em relevo suavemente ondulado até fortemente ondulado, formado por elevações (coxilhas) com declives que variam de 5 a 10 % e altitude de 400 a 700m, ocupando a maior área territorial do Rio Grande do Sul.

Classe: Argissolo vermelho distrófico arênico – PVd 2

Unidade de mapeamento: São Pedro.

Antiga classificação: Podzólico Vermelho Amarelo textura média.

Nele predomina a vegetação rasteira de campos grossos; as raízes são “abundantes” no horizonte A até 65 cm, “muitas” no horizonte AB de 65 a 100 cm e “poucas” no horizonte B de 100 até 130 cm de profundidade.

3.2.6.3 Chernossolos

Essa classe de solos caracteriza-se pelos solos rasos a profundos (80 a 120 cm em média), com perfil de horizontes A-B-C, com médios a altos teores de material orgânico, desenvolvidos a partir do basalto que lhe confere cores escuras ao horizonte superficial A. Apresenta horizonte B textural, pouco espesso (30-60cm), de textura argilosa. O horizonte C é composto por material intemperizado (basalto amigdalóide), apresentando grande número de incrustações de vários tamanhos.

Classe: Chernossolo Argilúvico férrico típico (MTf)

Unidade de mapeamento: Ciríaco.

Antiga classificação: Brunizem avermelhado raso textura argilosa.

Sob condições naturais, predomina a vegetação de mata subtropical alta, embora atualmente com expressivas áreas cultivadas. As raízes apresentam-se

“abundantes” no horizonte A até 25 cm, “comuns” de 25 a 48 cm no horizonte AB e “ausentes” de 48 a 90 cm no horizonte B (BRASIL, 1973).

A unidade de mapeamento Ciríaco não constitui unidade de mapeamento simples no Rio Grande do Sul, estando os chernossolos sempre associados em manchas com os solos Charrua (Neossolos litólico eutrófico chernossólico – Rle1), formando a Associação Ciríaco-Charrua. Esses solos ocupam área de pequena extensão, em relevo ondulado a fortemente ondulado, o que dificulta a mecanização, exigindo práticas conservacionistas intensivas.

Classe: Chernossolo Argilúvico órtico saprolítico (MTo1)

Unidade de mapeamento: Venda Grande.

Antiga classificação: Brunizem raso.

Esses solos ocorrem em relevo ondulado com pequenas elevações e declive médio ($\approx 8\%$), em altitudes de 80 a 200m.

A vegetação natural aparece como mata subtropical arbustiva, mas intensamente modificada e reduzida pelo uso agrícola intenso. As raízes apresentam-se “abundantes” no horizonte A até 28 cm e no horizonte B até 42 cm, sendo “comuns” no horizonte C de 42 a 75 cm de profundidade (BRASIL, 1973).

3.2.6.4 Neossolos

O termo “neossolos” refere-se a solos novos, pouco desenvolvidos. São solos de formação muito recente, derivados do basalto. São encontrados em condições de relevo médio a fortemente ondulado, com drenagem moderada. Devido a sua pouca espessura, possuem fortes restrições às culturas anuais, mas apresentam aptidão para reflorestamento e fruticultura.

Classe: Neossolo Litólico Eutrófico Chernozênico (RLe1)

Unidade de mapeamento: Charrua.

Antiga classificação: Litólico Eutrófico textura média.

Sua ocorrência na área estudada concentra-se nas encostas da Serra aparecendo sempre associado com solos Ciríaco.

A vegetação original compunha-se de mata subtropical alta, mas está intensamente alterada pelo desmatamento intensivo e uso em áreas ocupadas com

culturas regionais. As raízes são classificadas como “abundantes” até 20 cm no horizonte A, sendo que a próxima camada é de rocha matriz.

3.2.6.5 Planossolos

Os Planossolos, típicos de áreas planas, são imperfeitamente ou mal drenados, encontrados em várzeas, com relevo plano a suave ondulado. São adequados para o cultivo de arroz irrigado, milho, soja e pastagens.

Classe: Planossolo Hidromórfico Eutrófico Arênico (SGe1)

Unidade de mapeamento: Vacacaí.

Antiga classificação: Planosol textura média.

A área de ocorrência concentra-se em altitudes menores do que 150 m em relevo plano a suave ondulado, nas várzeas dos rios, principalmente na Depressão Central. A vegetação predominante é a de campos, mas modificada pelo uso atual com cultivos de arroz e após sua colheita com pastagem de resteva.

O sistema radicular apresenta-se como “abundante” até 45 cm no horizonte A, “comum” de 45 a 70 cm no horizonte e de “poucas” raízes no horizonte B de 70 a 120 cm.

3.3 Aspectos socioeconômicos

3.3.1 Síntese histórica da formação regional e processos de ocupação

A sub-bacia em questão possui as origens de sua organização espacial no século XV, através do Tratado de Tordesilhas (1494), que delimitava o território pertencente a Portugal e Espanha (BOLFE, 1992). O município de Santa Maria, nesta época, era inexplorado e pertencia oficialmente à Espanha. Em 1786, consolidou-se a posse do território gaúcho, e Santa Maria, mantendo-se ocupada por tropas militares, garantia a segurança do território como um ponto estratégico. Alguns anos depois, em 1789, a área foi doada como sesmaria, permanecendo no local um acampamento de militares para consolidar a posse do território (Bernardes, 1985), surgindo assim o município de Santa Maria.

Ao longo dos anos, as atividades realizadas pela sociedade trouxeram como uma das conseqüências a degradação deste ambiente, sendo a agricultura a atividade principal de exploração do solo. Os colonos imigrantes que seguiram ocupando as áreas da Encosta da Serra desbravaram áreas florestais, instalando-se em pequenas propriedades, onde passaram a realizar atividades agropecuárias.

A Depressão Central, integrada ao projeto ferroviário estadual, trouxe para Santa Maria a base do seu desenvolvimento, bem como das regiões vizinhas, sendo apontada como local adequado para servir à estratégia geopolítica nacional, conectando-se a Itararé em São Paulo, sendo então ligada ao Tronco Norte, que unia Passo Fundo a São Paulo (Zillmer, 1989).

Com a construção da estrada de ferro, Santa Maria passou a desenvolver outras funções, objetivando-se ao escoamento da produção agropecuária do Rio Grande do Sul para o centro do país.

A partir da implantação do Tronco Norte em 1898, Santa Maria e também o interior do Estado desenvolveram-se. Foi ao longo da ferrovia que se ocuparam novas áreas e se estabeleceram culturas do arroz, feijão, batata, trigo e uva. A criação de gado foi importante, pois o charque era o produto de destaque na época.

No início do século XX, o município intensificou-se com o povoamento de imigrantes europeus. A madeira e a erva-mate tornaram-se produtos explorados, sendo transportados via férrea para o porto de Rio Grande e fronteira (Zillmer, 1989).

Santa Maria passa então a diversificar suas atividades. O novo centro ferroviário do Estado impulsiona-se com a implantação de novas funções, integradas à economia brasileira, dependente do setor primário exportador. A partir da década de 30, o município passou a ser também importante centro rodoviário e a desenvolver novas relações sociais de produção.

A evolução urbana deve-se especialmente ao crescimento do setor terciário que envolve a maior parte da população ativa. A estrutura fundiária do município apresenta hoje um número expressivo de grandes propriedades, porém destacam-se as pequenas propriedades localizadas em áreas próximas à cidade, dedicadas à produção de hortifrutigranjeiros, que atendem parte do mercado consumidor.

Haselein (1991), analisando a produção das pequenas propriedades rurais do Estado, constata que a agricultura é mais desenvolvida pelos colonos, principalmente nas áreas de várzeas propícias à cultura orizícola, e responsável pelo

grande contingente de assalariados que se formou. Na sub-bacia em estudo insere-se, além da atividade agropecuária, na produção agrícola realizada nas várzeas.

O crescimento da população urbana também contribuiu para alterações na paisagem e no ambiente, sendo ocupadas as áreas mais distantes dos centros urbanos para o lazer. Nas alterações da paisagem, deve-se considerar ainda a modernização do campo e as transformações aceleradas. Segundo Mendes Jr. (1986), Santa Maria apresentava duas áreas distintas no meio rural: a do pequeno proprietário policultor e a área a ser dividida em propriedades de grande dimensão, junto às várzeas fluviais das bacias dos rios Ibicuí e Vacacaí, que inclui a sub-bacia do Arroio Arenal e o topo do Planalto, onde a topografia é ondulada, sendo a pecuária a atividade principal; e as de média e grande dimensão, onde aparecem a adoção de tecnologias industriais. Neste local, a topografia é plana e levemente ondulada.

Pode-se verificar que a maioria das alterações ambientais advém das atividades agrícolas das pequenas propriedades e da criação de gado nas grandes propriedades aliadas à cultura do arroz. Na busca da produção agrícola, o homem destruiu a vegetação natural, preservando-a apenas nos locais mais íngremes e impróprios para a agricultura.

Conforme Bernardes (1985), em todo o município de Santa Maria, as manifestações florestais existem, principalmente, em forma de matas galerias, ao longo das margens dos rios. Porém, isso muitas vezes não ocorre quando a cultura do arroz irrigado se faz presente.

Em geral, as áreas florestais no Estado são pouco representativas e se reduzem a reservas, matas ciliares e capões. A exploração da mata ciliar ao longo dos cursos d'água altera o funcionamento do ciclo hidrológico, mudando seu regime fluvial e ocasionando processos de erosão e assoreamento, proporcionando condições para ocorrência de enchentes e mudanças para os ecossistemas.

3.3.2 Atividades econômicas

As formas de uso e ocupação da terra na sub-bacia do Arroio Arenal são representadas principalmente pelas atividades agropecuárias, destacando-se a

cultura do arroz irrigado através de técnicas de curvas de nível. Culturas como a soja e o milho também estão presentes, além de outros cultivos em menor escala.

Outra atividade decorrente na área de estudo é a extração de recursos minerais, como argila e principalmente areia. A retirada destes minerais provoca alterações no leito do Arroio Arenal. A retirada é feita nas proximidades do Arroio, visando atender o mercado da construção civil em Santa Maria e outras cidades do país, estabelecendo-se uma relação de reprodução da areia como um produto natural de transformação que atende um mercado consumidor determinando a circulação de capital nos setores de atividades primárias e secundárias.

Conforme o senso do IBGE de 2002, no município de Santa Maria, estão inseridas atividades de pecuária, com criações de bovinos, suínos, eqüinos, asininos, muares, bubalinos, coelhos, ovinos, galinhas, codornas, produção de ovos, vacas de ordenha, ovinos, e mel de abelha; atividades de lavouras permanentes, com as culturas de abacate, caqui, figo, goiaba, laranja, limão, pêra, pêsego, tangerina e uva; e atividades citadas em lavouras temporárias, como alho, amendoim, arroz, batata-doce, batata-inglesa, cana-de-açúcar, cebola, ervilha, feijão, fumo, mandioca, melancia, melão, milho, soja e tomate. Quanto à extração vegetal e silvicultural, o IBGE divulgou os seguintes dados relativos ao senso 2002: produção de carvão-vegetal a partir da madeira, lenha e madeira em tora.

3.3.3 Características demográficas

Segundo IBGE - senso 2002, a população estimada para 2005 no município de Santa Maria é de 266.042 habitantes, inseridos numa área territorial de 1.780 Km². A ocupação da mão-de-obra dos moradores está ligada às atividades de comércio e indústria na área urbana. Na zona rural, a mão-de-obra está inserida nas atividades agropecuárias e também de exploração dos recursos minerais.

3.4 Materiais

Os materiais utilizados para a execução deste trabalho podem ser divididos em material de laboratório e material de campo.

3.4.1 Material de laboratório

3.4.1.1 Material cartográfico

- Imagem TM - satélite LANDSAT-5, bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5, e 7 – órbita-ponto: WRS 223–081 de 14 de outubro de 1995;
- Imagem ETM+ - satélite LANDSAT-7, bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5, e 7 – órbita-ponto: WRS 223–081 de 28 maio de 2000;
- Imagem - satélite CBERS 2, bandas espectrais 1, 2, 3 e 4 – órbita-ponto: WRS 160–133 de 07 de janeiro de 2005;

As imagens foram obtidas via internet, através da Divisão de Processamento de Imagens – DPI do INPE. As imagens usadas dos satélites LANDSAT-5 e 7 possuem uma resolução espacial de 30 metros, e as imagens do satélite CBERS-2 uma resolução espacial de 20 metros.

- Cartas topográficas elaboradas pelo Ministério do Exército – Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) – Região Sul do Brasil, todas na escala 1:50.000, impressão em 1979, eqüidistâncias das curvas de nível de 20 metros, origem da quilometragem UTM: “Equador e Meridiano 51° e 57° W.GR”, Datum horizontal: Córrego Alegre – Minas Gerais e Datum vertical: Marégrafo de Torres – RS. Abaixo, encontra-se articulação e nomenclatura das cartas topográficas (Figura 5):



Figura 5 – Articulação das cartas topográficas.

- Levantamento de reconhecimento de unidades de mapeamento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000.

3.4.1.2 Material de processamento e análise

Esses materiais compreendem computadores, periféricos e aplicativos computacionais.

- O computador utilizado foi: um AMD Athlon XP 2600 – 2.13 Ghz, 512 Mb-Ram, disco rígido de 40 GB, monitor LG – *Studioworks* 17”.
- Os periféricos utilizados foram: Scanner de mesa HP, formato A4; Impressora HP-695c Deskjet, formato A4.

Os aplicativos computacionais utilizados foram:

- Sistema Operacional Windows XP, desenvolvido pela Microsoft;
- Aplicativo de tratamento digital de imagens Adobe Photoshop, versão 8.0;
- Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas SPRING, versão 4.1;
- Programa de desenho vetorial Corel Draw versão 12, desenvolvido pela API ICC Kodak Digital Science;
- Sistema de Informação Territorial Rural – SITER 2.5 desenvolvido no Laboratório de Geomática – UFSM;
- Editor de textos Word 2003, desenvolvido pela Microsoft;
- Planilha eletrônica Excel 2003, desenvolvido pela Microsoft;

3.4.2 Material de campo

Para a realização da reambulação temática, foram utilizados: veículo para deslocamento a campo, mapas temáticos, cartas topográficas, e GPS de navegação modelo Garmin 12XL.

3.5 Metodologia

A metodologia usada neste trabalho se resume basicamente nas etapas descritas a seguir: elaboração da base de dados cartográficos, georreferenciamento das imagens, processamento digital das imagens, classificação digital do uso da terra, confecção de mapas temáticos, análise em Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), quantificação das áreas dos mapas temáticos, edição final dos mapas e reambulação temática a campo.

3.5.1 Elaboração da base de dados cartográficos

A base cartográfica da sub-bacia do Arroio Arenal foi obtida seguindo o esquema da Tabela 2:

Tabela 2 – Descrição da origem das bases de dados levantados

Base Levantada	Origem	Forma
Rede viária	Cartas da DSG na escala de 1:50.000	Digitalização em tela
Rede hidrográfica		
Limite da sub-bacia		
MDT	SRTM ⁶ – NASA	Geração de Isolinhas

A base cartográfica da área de estudo foi referenciada espacialmente, descrevendo de forma qualitativa a distribuição espacial das informações e servindo de ferramenta para a geração de inúmeros produtos temáticos derivados.

A conversão da base do formato analógico para o formato digital foi realizada através de Scanner, no qual as cartas topográficas foram digitalizadas em formato raster e posteriormente montadas em um mosaico de imagens formato *.Tiff no programa Adobe Photoshop ver. 8.0, para facilitar o processo de georreferenciamento e digitalização dos temas de interesse.

Esse mosaico foi então convertido para o formato *.Grb no módulo Impima 4.1, adotando-se uma resolução espacial de 8 metros, para ser posteriormente importado no programa SPRING 4.1. Para sua georreferência, foram adotados 20 pontos de apoio (APÊNDICE A) tomados a partir da grade de coordenadas UTM

convertidas para o formato Latitude/Longitude e Datum horizontal Córrego Alegre-Minas Gerais. Tal conversão foi necessária para a correspondência com a projeção usada na criação do projeto no aplicativo SPRING 4.1. A impossibilidade de se usar o sistema de coordenadas planas justifica-se pela diferença de Meridiano central de origem - 51° e 57° - entre as cartas topográficas.

Em seguida, foram digitalizadas as entidades geográficas: rede viária, rede hidrográfica e polígono limite da sub-bacia. Nesta etapa, cada entidade geográfica foi digitalizada como sendo um Plano de Informação (PI) individual.

3.5.2 Georreferenciamento das imagens

O processo de georreferência possui fundamental importância no desenvolvimento de projetos baseados em SIGs, uma vez que o espaço geográfico é constituído por um conjunto de diferentes planos de informação que devem possuir o mesmo sistema de referência para que possam ser sobrepostos.

O processo de georreferência é descrito por Teixeira e Christofolletti (1997) como sendo a situação em que uma entidade geográfica é referenciada espacialmente ao terreno por meio de sua localização, utilizando-se para tal um sistema de coordenadas conhecido no qual a localização de um ponto da superfície da Terra pode ser identificada.

Para o georreferenciamento das imagens utilizadas no desenvolvimento da pesquisa, foi necessário o conhecimento das coordenadas visíveis na imagem e na carta topográfica respectivamente. Crósta (1992) diz que a finalidade deste método é a de estabelecer as diferenças de posicionamento de alguns pontos na imagem e na carta e, a partir dessas diferenças, as distorções presentes podem ser estimadas e uma transformação adequada é computada, no sentido de corrigir a imagem.

Na tomada dos pontos de controle, faz-se necessário sua coleta em toda a área de abrangência da imagem, de forma a buscar sempre uma boa disposição dos pontos sobre a imagem e uma boa precisão de posicionamento, a fim de obter maior precisão na georreferência da imagem e, em consequência, maior precisão cartográfica, uma vez que a equação que descreve o ajuste espacial entre os dois sistemas de referência é desenvolvida a partir desses pontos (EASTMAN, 1998).

A georreferência das imagens obedeceu aos seguintes passos:

- 1) A escolha dos pontos de controle visíveis na composição falsa-cor e na carta topográfica como: cruzamento de rodovias, ferrovias, trevos urbanos e rios;
- 2) Aquisição das coordenadas de 20 pontos de controle (APÊNDICE B), identificando-os como X, Y, representando o mesmo lugar, na imagem processada e na carta topográfica;
- 3) Transformação dos pontos de controle de coordenadas UTM para coordenadas Latitude e Longitude através do aplicativo computacional SITER 2.5;
- 4) Foram informados ao programa os valores das coordenadas previamente definidas, e, sobre a tela, os pontos representados por cruzetas numeradas foram arrastados sucessivamente até o local correto na imagem.
- 5) Seleção de todos os pontos de controle para a verificação do erro medido em *pixels* da imagem.

3.5.3 Processamento digital de imagens

As imagens utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho foram obtidas a partir do satélite LANDSAT-5, sensor TM e LANDSAT-7, sensor ETM+, compreendendo 6 bandas espectrais 1,2,3,4,5 e 7, e ainda do satélite CBERS-2, com as bandas espectrais 1,2,3, e 4.

As imagens no formato *.Tiff/Geotiff foram importadas para o módulo Impima do SPRING 4.1, sendo transformadas para o formato nativo *.Grib, para serem posteriormente importadas no SPRING 4.1.

Foram elaboradas as composições coloridas falsa-cor, 1,2,3; 3,4,5 e 2,3,4. As composições coloridas formadas pelas bandas 3,4,5 dos satélites LANDSAT e 2,3,4 dos satélites LANDSAT e CBERS foram utilizadas para a tomada de amostras de treinamento usadas na classificação digital das imagens, sendo as bandas associadas ao canal do azul (banda 3), canal do verde (banda 4) e canal do vermelho (banda 5) para a composição 3,4,5 e ainda canal do azul (banda 2), canal do verde (banda 3) e canal do vermelho (banda 4) para a composição 2,3,4.

Uma composição falsa-cor é formada por imagens coloridas produzidas a partir de três imagens independentes que contém informações espectrais fora do intervalo sensível ao olho humano.

Os diferentes níveis para cada cor variam de 0 a 255 tons, no qual (0,0,0) forma o preto e (255,255,255) forma o branco.

As etapas para obtenção da composição falsa-cor são as seguintes:

- 1) Acesso ao módulo Arquivo – Painel de Controle (PC);
- 2) Informação dos nomes dos arquivos de bandas espectrais, azul (B), verde (G) e vermelho (R);
- 3) Seleção da opção desenho no Painel de Controle;
- 4) Definição do percentual de contraste linear desejado através do módulo Imagem – Contraste;
- 5) Após a definição do contraste, as imagens foram salvas como sendo uma composição sintética;
- 6) A composição sintética das bandas do ano de 1995 foi adotada para realização da carta-imagem, por ser a composição que melhor representou a forma real e a tonalidade dos alvos do terreno e ainda por ser a data inicial de estudo.
- 7) A partir do polígono limite digitalizado, foi possível extrair somente área correspondente à sub-bacia do Arroio Arenal.

3.5.3.1 Segmentação de imagens

O processo de segmentação foi baseado em cálculos de critérios de similaridade, como média, matriz de covariância e textura (área). A agregação é feita, conforme Fonseca (2001), segundo algum critério de similaridade e um limiar (definidos pelo usuário), que define a região segmentada. O autor também apresenta as características de agrupamento de regiões no aplicativo SPRING. Então, duas regiões adjacentes A e B são agrupadas, se e somente se: 1) a média das regiões A e B forem similares; 2) a média da similaridade satisfazer o limiar estabelecido; e 3) A e B forem mutuamente próximas.

O resultado final do processo de segmentação constituiu uma imagem rotulada, na qual cada região representa um determinado valor digital (rótulo) e que posteriormente será classificado.

No processo de segmentação realizado neste estudo, foram usados os valores de 8 para similaridade e 16 para área de agrupamento de *pixels*. É

importante ressaltar que estes valores dependem também da experiência do usuário e da qualidade requerida, bem como da resolução da imagem a ser analisada.

3.5.4 Classificação digital de imagens

O processo de classificação digital de imagens constitui na associação de cada *pixel* a uma parte ou a um todo de um objeto do mundo real. Trata-se, portanto, do reconhecimento de valores numéricos presentes em uma imagem. Estes devem estar associados à identificação de um tipo qualquer de cobertura da superfície do solo, sendo usada para extração de informações temáticas.

Neste estudo, utilizou-se o método de classificação digital denominado Classificação Supervisionada, assim chamada em função da presença da fase de treinamento, na qual o analista identifica áreas de treinamento representativas dos *pixels* de determinadas classes de uso da terra, e, depois cada *pixel* da imagem é classificado de acordo com a classe de uso que ele se assemelha.

A fase de treinamento é decisiva na qualidade e precisão do processo de classificação, enquanto na classificação não-supervisionada, a análise do algoritmo baseia-se em agrupamentos formados por *pixels* com características espectrais similares. O algoritmo classificador usado neste procedimento foi o *Bhattacharya*. Nesta etapa ainda foi necessário a criação de uma imagem de contexto individual para cada imagem das diferentes datas e o processo de extração de regiões.

Para a área de estudo adotou-se a coleta de 50 amostras distribuídas para cada classe de uso da terra, de acordo com a interpretação das imagens e trabalho de campo, onde foram geradas as respectivas assinaturas espectrais para cada classe adotada, que foram as seguintes: *Florestas, Regeneração, Culturas, Agricultura irrigada, Campo, Solo exposto, Área urbana e Lâmina d'água*.

Ao final do processo de classificação digital, foram obtidos mapas de uso e cobertura da terra para as três séries temporais distintas, sendo possível a partir destes, quantificar a área de cada uma das classes adotadas, bem como investigar as mudanças ocorridas no período.

3.5.5 Confeccção de mapas temáticos

3.5.5.1 Mapa clinográfico

Para a elaboração do mapa clinográfico ou mapa de declividade, as curvas de nível foram obtidas a partir do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM⁶) – NASA e importadas no SPRING 4.1, no formato grade para uma categoria do tipo Modelo Numérico do Terreno (MNT). Pela interpolação dos valores altimétricos desta grade foram geradas isolinhas correspondentes às curvas de nível apenas da área de interesse, isto foi possível através do recorte desta grade pelo polígono limite. A partir destas isolinhas gerou-se uma grade triangular (TIN), onde cada ponto da imagem recebe uma interligação para os pontos vizinhos, gerando uma malha triangular.

Para a obtenção das classes de declividade do solo, se fez necessário realizar a operação de fatiamento desta imagem, com o objetivo de agrupar valores altimétricos diferentes em intervalos de classes pré-definidos. Para isto, através da operação MNT – Fatiamento do SPRING 4.1, foi criada uma imagem com valores de declividade em porcentagem. Em seguida, estes valores foram agrupados em 5 classes, com base na metodologia desenvolvida por De Biase (1992), mostrada na Tabela 3:

Tabela 3 – Classes de declividade do solo

Classes de declividade	Percentual (%)
1	0 – 5
2	5 – 12
3	12 – 30
4	30 – 47
5	> 47

Fonte: De Biase (1992).

Com base nesta metodologia, são descritas as seguintes classes:

1. Classe 0-5%: Compreende o limite máximo urbano industrial; no meio rural, compreende terras cultiváveis com problemas simples de conservação do solo, sem

maiores problemas de erosão. Propõem-se o ajustamento da propriedade a sua capacidade de uso nestas declividades, preparo do solo em nível, controle de fogo visando incorporar os restos orgânicos, plantio direto, rotação de culturas, (em sistema radicular alternado). Permite o uso de maquinário, bem como o cultivo anual e permanente, como pastagens e reflorestamentos; contudo, é necessário o cultivo de cobertura vegetal, não deixando o solo exposto à ação de diversos agentes.

2. Classe 5-12%: Estabelece o limite máximo para emprego de mecanização agrícola. São consideradas como declividades moderadas, podendo ser usadas máquinas agrícolas no cultivo e preparo do solo, porém com algumas preocupações com o preparo do solo em nível, plantio em nível, controle de fogo em resíduos de culturas, terraceamentos e subsolagem em camadas impermeáveis, plantio direto, controle químico, rotação de culturas em sistema radicular alternado, faixas de retenção com plantio de vegetais, como cana. Permite cultivos não muito intensos, com cuidados de proteção do solo.

3. Classe 12-30%: Representa o limite máximo para a urbanização sem restrições. No meio rural, as terras situadas dentro desta classe permitem cultivos apenas com equipamentos de tração animal ou tratores esteira devido à inclinação das vertentes. Permite o cultivo de culturas permanentes sem restrição, principalmente com árvores de maior porte ou reflorestamento, podendo ser extraído lucro financeiro com exploração florestal e com pomares. Segundo Lepsch et al. (1983), estas terras são adaptáveis ao cultivo de poteiros e pastagens, bem como um reflorestamento planejado para exploração econômica. Propõe-se controle da erosão, plantio em curvas de nível com barreiras vegetais ou muros de pedras, terraceamentos, manutenção da cobertura vegetal do solo em períodos de entressafra da cultura principal com aveia, ervilhaca ou tremoço, auxiliando na manutenção do solo e evitando a erosão, compactação e perda da fertilidade do solo.

4. Classe 30-47%: Determina o limite máximo para o corte raso de vegetação. Segundo o código florestal, a partir de tal declividade, só será permitida a exploração se sustentada por coberturas florestais, podendo, desta forma, ser usada no processo extrativista, coleta, exploração madeireira com restrições, como em quantidade de corte, época, tipo de madeira etc. As terras enquadradas nesta classe

devem ser usadas apenas em reflorestamentos, cultivo de vegetação permanente, cultivo de pomares etc.

5. Classe >47%: O artigo 10º do código florestal prevê que, na faixa situada entre 47 a 100%, não é permitida a derrubada de florestas para nenhum fim, só sendo tolerada a extração de toros quando em regime de utilização racional, que vise rendimentos permanentes e produção de madeira de forma continuada, não proporcionando locais que fiquem desprovidos de vegetação e sob o efeito da erosão e demais intempéries.

3.5.5.2 Mapa hipsométrico

Para a elaboração do mapa temático de classes hipsométricas, utilizou-se a grade altimétrica do Rio Grande do Sul obtida através do SRTM⁶ – NASA, que foi importada para uma categoria do tipo MNT no programa SPRING 4.1. A partir da interpolação dos valores altimétricos desta grade, foram geradas isolinhas correspondentes às curvas de nível apenas da área de interesse, como feito anteriormente para o mapa clinográfico.

Para a obtenção das classes hipsométricas eqüidistantes em 20 metros, foi necessário realizar a operação de fatiamento desta imagem, para agrupar valores altimétricos diferentes em intervalos de classes pré-definidos. A cada classe hipsométrica, foi atribuída uma classe temática correspondente para que fossem quantificadas as respectivas áreas.

3.5.6 Análise espacial em LEGAL

Baseando-se nos modelos de dados e nos níveis conceituais de dados geográficos, o SPRING possui uma linguagem de consulta e manipulação espacial, denominada LEGAL, definida por Câmara (1995).

Esta linguagem provê um ambiente geral para análise geográfica, com operadores espaciais sobre geo-campos e geo-objetos existentes no banco de dados do SPRING, introduzidos pelo modelo conceitual (CÂMARA, 1995). Nessa programação, são utilizados esquemas conceituais para definir espacializações das

classes do modelo de dados. O modelo campos enxerga o espaço geográfico como uma superfície contínua, sobre a qual variam os fenômenos a serem observados, segundo diferentes distribuições, como um mapa de uso do solo. Já o modelo de objetos representa o espaço geográfico como uma coleção de entidades distintas e identificáveis, como um cadastro espacial de lotes urbanos.

Um programa em LEGAL, conforme Barbosa & Cordeiro (2001), é estruturado em uma lista de sentenças que descrevam um procedimento, ou um conjunto de ações sobre dados espaciais. Tais sentenças são estruturadas em quatro grandes grupos: I) Declarações das variáveis; II) Instanciações das variáveis; III) Operações de álgebra de mapas; e IV) Comandos de controle.

Barbosa & Cordeiro (2001) ainda descrevem os significados das sentenças descritas acima. As declarações definem variáveis que serão associadas aos dados fornecidos num programa. As instanciações são efetivamente associadas a planos de informações e correspondem a operações de dados existentes no SPRING, ou à criação de um novo dado representado em um plano de informação. As operações correspondem à aplicação de operadores sobre as variáveis declaradas e instanciadas, segundo regras gramaticais definidas. Cada sentença descreve uma operação de atribuição, que consiste em atribuir o resultado da avaliação de uma expressão algébrica a uma variável definida pelo programa. Os comandos de controle permitem o controle de fluxo de processamento do programa.

Cada sentença em LEGAL também envolve símbolos, como '{', '(', ')', '}', operadores como '+', '*', '&&', '|'; palavras reservadas como Novo, Nome, Atribua, Pondere; nome de variáveis, como os modelos de dados disponíveis no SPRING; e nomes de itens, referentes aos planos de informação. Uma ampla gama de aplicações de programas em LEGAL e descrições mais detalhadas podem ser encontradas no Manual do Usuário SPRING (INPE, 2004).

Com base nas classificações digitais para os anos 1995, 2000 e 2005, foram gerados através de programação em LEGAL, os seguintes mapas:

3.5.6.1 Mapas da cobertura florestal

Os mapas da cobertura florestal foram confeccionados a partir dos mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 1995, 2000 e 2005. Através do cruzamento

destas bases temáticas por meio de programação em LEGAL (APÊNDICE C), foi demonstrada somente a classe floresta da sub-bacia do Arroio Arenal. Analisou-se os fragmentos florestais em comum para dois períodos distintos: período-1 (entre outubro de 1995 e maio de 2000) e período-2 (entre maio de 2000 e janeiro de 2005). Neste mapa, foram analisadas áreas florestais em comum para as duas datas, podendo também ser observados locais de desmatamento e locais de reposição florestal durante o período.

3.5.6.2 Mapa de áreas de conflito de uso da terra

O mapa de áreas de conflito de uso da terra foi gerado a partir do cruzamento entre os planos de informação correspondentes ao uso e cobertura da terra para janeiro de 2005 e as Áreas de Preservação Permanente.

Estas Áreas de Preservação Permanente foram definidas com base no Art. 2º da Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965, que institui o novo Código Florestal, o qual considera de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:

- 1) de 30 metros para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura;
- 2) de 50 metros para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros de largura;
- 3) de 100 metros para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 metros de largura;
- 4) de 200 metros para os cursos d'água que tenham de 200 a 500 metros de largura;
- 5) de 500 metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 metros;

b) ao redor de lagos, lagoas ou reservatórios d'água naturais e artificiais;

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados olhos d'água, qualquer que seja sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 metros de largura;

d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;

e) nas encostas ou nas partes destas com declive superior a 45°, equivalente a 100 por cento na linha de maior declive;

f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 metros em projeções horizontais;

h) em altitude superior a 1.800 metros, qualquer que seja a vegetação;

i) REVOGADA;

PARÁGRAFO ÚNICO – No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas em todo o território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitando os princípios e limites aos quais se refere este artigo.

É importante a complementação desse mapa temático por um conceito de Área de Floresta de Preservação Permanente (FPP) dado por Kurtz (2002, p. 43):

São áreas de florestas nativas reservadas à manutenção dos ecossistemas intactos, onde são proibidas as visitas, a exceção de expedições científicas credenciadas pelos órgãos ambientais garantindo assim o futuro das próximas gerações e ao não desaparecimento de espécies da flora e fauna silvestre em extinção.

Para toda a rede de drenagem, foi então criado um mapa de distâncias no qual foram atribuídos uma faixa marginal de 30 metros ao longo dos cursos d'água, áreas num raio de 50 metros ao redor das nascentes e topos de morros.

A partir deste cruzamento, puderam ser analisados os tipos de conflito encontrados, sendo considerado todo o tipo de uso e ocupação do solo encontrado sobreposto a áreas de preservação permanente. Portanto, foram consideradas como áreas de conflito todas aquelas ocupadas por atividades agrícolas em áreas marginais à rede de drenagem, nas áreas de nascentes, em topo de morros e em declividades superiores a 47%. No APÊNDICE D, pode ser visualizada a programação em LEGAL usada para a realização deste mapa.

3.5.6.3 Mapa de áreas de reflorestamento prioritário

Para o reflorestamento prioritário foram selecionadas as áreas onde são exercidas práticas agrícolas e que, no entanto, são consideradas Áreas de Preservação Permanente conforme o Código Florestal Brasileiro.

3.5.6.4 Mapa de evolução florestal

O mapa temático de evolução florestal apresenta áreas nas quais a cobertura florestal não foi alterada e ainda áreas de ocorrência de desmatamentos e regeneração florestal. A partir do cruzamento (APÊNDICE E) das bases temáticas de uso da terra, foi feito o mapa de evolução para o período de 10 anos (entre outubro de 1995 e janeiro de 2005). As áreas de manutenção florestal foram assim entendidas como aquelas que apresentaram a classe floresta nas duas datas analisadas. Foram consideradas áreas de desmatamento aquelas em que a classe temática floresta foi suprimida em função das outras classes de uso da terra, como culturas, regeneração, agricultura irrigada, campo, solo exposto e lâmina d'água. Já as áreas de regeneração florestal foram consideradas aquelas em que a classe floresta substituiu as demais classes de uso e cobertura da terra.

3.5.6.5 Mapa de evolução agrícola

Para o mapa de evolução agrícola, foram cruzadas as bases temáticas de uso da terra também para o período de 10 anos (entre outubro de 1995 e janeiro de 2005).

As áreas de redução agrícola foram consideradas como sendo aquelas em que as classes temáticas de culturas, agricultura irrigada e solo exposto foram substituídas pelas demais classes temáticas. As áreas de expansão agrícola foram interpretadas como sendo aquelas em que as classes culturas, agricultura irrigada e solo exposto aparecem em locais anteriormente ocupados pelas outras classes. A manutenção agrícola foi constada em áreas que não sofreram alterações durante o período, podendo estar ocupadas por qualquer uma das classes que caracterizam atividades agrícolas. O APÊNDICE F mostra a programação em LEGAL feita para a obtenção destes mapas temáticos.

3.5.6.6 Mapas de evolução da regeneração para floresta

Foram consideradas as áreas da classe regeneração que completaram seu processo evolutivo atingindo o estágio de floresta na data seguinte. Assim, foram

gerados os mapas para as datas de maio de 2000 em relação a outubro de 1995 e de janeiro de 2005 em relação maio a de 2000, a partir da intersecção entre as áreas florestais no fim do período com as áreas de regeneração na data inicial. A programação em LEGAL usada neste procedimento pode ser visualizada no APÊNDICE G.

3.5.6.7 Mapa de classes de declividade x evolução florestal

Neste mapa foram cruzadas através da programação em LEGAL (APÊNDICE H), as bases temáticas correspondentes à evolução florestal, juntamente com o mapa clinográfico da sub-bacia do Arroio Arenal.

A contribuição deste mapa justifica-se pela possibilidade de análise sobre a evolução dos recursos florestais em função das classes de declividade, questão diretamente relacionada à intervenção humana uma vez a que a exploração do solo é determinada pelas condições do relevo.

3.5.7 Quantificação do uso e cobertura da terra

Após a geração dos mapas temáticos, dos mapas de uso e cobertura da terra para as três datas e realizados os cruzamentos com estes planos de informação, foi efetuado o cálculo das áreas para todas as classes mapeadas. Para isso, as imagens classificadas com o formato original matriz, foram associadas a classes pertencentes a categorias temáticas. As novas imagens temáticas foram então convertidas para o formato vetorial.

Através da ferramenta Medidas de Classes do aplicativo SPRING 4.1, foram calculados os respectivos valores de área, com base na dimensão do *pixel*, 30x30m (900 m²) para imagens LANDSAT e 20x20m (400 m²) para imagens CBERS.

3.5.8 Edição final dos mapas

A edição final de todos os mapas foi realizada no aplicativo Corel Draw versão 12. No entanto, para que as imagens fossem importadas para o aplicativo Corel Draw, foram necessárias as conversões de arquivo através dos módulos Scarta e

lplot do SPRING, onde foram também inseridas as coordenadas, os símbolos, as legendas e os quadros apresentados nas figuras.

3.5.9 Reambulação temática

Esta etapa foi realizada visando a confirmação a campo de padrões das imagens que apresentavam dúvidas quanto aos temas classificados. Para a verificação da resposta espectral dos mesmos, fez-se uma coleta de informações no campo, com base no material cartográfico elaborado e com o auxílio de GPS de navegação modelo Garmin 12XL, utilizado para coletar as coordenadas dos locais amostrados para averiguação.