

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA – UNIPAMPA
CAMPUS SÃO GABRIEL
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E COBERTURA
DO SOLO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO
ARROIO ARENAL, SANTA MARIA/RS.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aline Nogueira Palmeira

**São Gabriel, RS, Brasil
2011**

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E COBERTURA DO
SOLO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO
ARENAL, SANTA MARIA/RS.**

Aline Nogueira Palmeira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso
de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do título de
Graduada em Engenharia Florestal

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Caroline Paim Benedetti

**São Gabriel, RS, Brasil
2011**

**Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA
Campus São Gabriel
Curso de Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO NA
SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO ARENAL, SANTA
MARIA/RS.**

elaborado por
Aline Nogueira Palmeira

como requisito parcial para obtenção do título de
Graduada em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Ana Caroline Paim Benedetti, Dr^a.
(Presidente/Orientador)

André Carlos Cruz Copetti, MSc. (UNIPAMPA)

Eduardo Pagel Floriano, Dr. (UNIPAMPA)

São Gabriel, 28 de junho de 2011.

RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Engenharia Florestal
Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA

ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO ARENAL, SANTA MARIA/RS

AUTORA: ALINE NOGUEIRA PALMEIRA

ORIENTADORA: ANA CAROLINE PAIM BENEDETTI

Data e Local da Defesa: São Gabriel, 28 de junho de 2011.

O uso da terra indica a apropriação da natureza pela sociedade e a fragilidade do ambiente. Neste contexto, o Sensoriamento Remoto permite, por meio de imagens de satélite, acompanhar as transformações do espaço ao longo do tempo. O presente trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica das classes de uso e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal – RS, com a classificação/processamento de imagens Landsat-5/TM através de avaliações multitemporais. A metodologia se constituiu na análise de uma série temporal distinta entre os anos de 1995 e 2010, gerando informações representativas da paisagem possibilitando a criação de mapas de uso e cobertura do solo. A análise espacial baseou-se na linguagem LEGAL, executada no *software* SPRING, no qual também foram elaborados mapas temáticos, utilizando o método de classificação por máxima verossimilhança (MAXVER). Neste processo, foram gerados dados que possibilitaram a análise espacial do uso e cobertura do solo, definindo assim os parâmetros necessários para avaliar a dinâmica das evoluções florestal e agrícola. Os principais resultados mostraram a predominância dos campos, ocupando 36% da área, a ampla disseminação da cultura agrícola, quantificada em 17.604,017 ha, e também a redução de áreas florestais e de regeneração, em 2.112,106 ha e 3.093,507 ha respectivamente. Conforme o mapeamento das Áreas de Preservação Permanente foram determinados os conflitos ambientais ocasionados pelas práticas agrícolas em locais inadequados. Sendo assim, a análise temporal da sub-bacia, fazendo uso da classificação digital de imagens se mostrou relevante para identificar os processos desencadeados pela ação antrópica no ambiente.

Palavras-chave: uso e cobertura do solo; Sensoriamento Remoto; classificação digital de imagens.

ABSTRACT

Conclusion of Course Work
Faculty of Forest Engineering
Federal University of Pampa - UNIPAMPA

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

AUTHOR: ALINE NOGUEIRA PALMEIRA

ADVISOR: ANA CAROLINE PAIM BENEDETTI

Place and date of the defense: São Gabriel, June²⁸, 2011.

The land use indicates the appropriation of nature by society and the fragility of the environment. In this context, the remote sensing allows through satellite images, follow the transformations of space over time. This work aims to analyze the dynamics of the classes of land use and cover in the hydrographic subbasin of Arroio Arenal-RS, with the classification / processing Landsat-5/TM image through assessments multitemporal. The methodology consisted in the analysis of a distinct temporal series between the years 1995 and 2010, generating representative landscape information enabling the creation of land use and cover maps. The spatial analysis was based on LEGAL language, running on SPRING software, with which were also prepared thematic maps, using the method of classification by maximum verisimilitude (GML). In this process, were generated data that allowed the use and land cover spatial analysis, thereby defining the parameters necessary to evaluate the dynamics of forest and agricultural developments. The main results showed the predominance of grazing in the regional landscape, occupying 36% of the area, the wide dissemination of the crop fields, measured in 17604.017 hectares, and also the reduction of forest areas and regeneration, at 2112.106 and 3093.507 ha respectively. As the mapping of permanent preservation areas were determined environmental conflicts caused by agricultural practices in inappropriate places. Thus, the temporal analysis of a subbasin, using the classification of digital images proved relevant to identify the processes triggered by human action on the environment.

Key-words: use and Land cover, Remote Sensing, digital image classification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro Eletromagnético.	14
Figura 2- Localização da sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal.	27
Figura 3 - Imagens da tela de contraste no aplicativo SPRING.	31
Figura 4 - Imagem da composição BGR 3,4,5 da sub-bacia do Arroio Arenal em outubro de 1995.	36
Figura 5 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do Arroio Arenal em outubro de 1995.	39
Figura 6 - Imagem da composição BGR 1,2,3 da sub-bacia do Arroio Arenal em novembro de 2010.	40
Figura 7 - Imagem da composição BGR 2,3,4 da sub-bacia do Arroio Arenal em novembro de 2010.	41
Figura 8 - Imagem da composição BGR 3, 4, 5 da sub-bacia do Arroio Arenal em novembro de 2010.	41
Figura 9 - Representação das classes de uso e cobertura do solo e sua contribuição na área total da sub-bacia do Arroio Arenal em outubro de 1995 e novembro de 2010.	43
Figura 10 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do Arroio Arenal em novembro de 2010.	46
Figura 11 - Evolução florestal na sub-bacia do Arroio Arenal entre outubro de 1995 e novembro de 2010.	50
Figura 12 - Evolução agrícola na sub-bacia do Arroio Arenal entre outubro de 1995 e novembro de 2010.	51
Figura 13 - Áreas de conflito de uso do solo na sub-bacia do Arroio Arenal em novembro de 2010.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Qualidade da classificação digital segundo intervalo do coeficiente Kappa	18
Tabela 2 - Pontos de controle usados na georreferência das imagens.....	30
Tabela 3 - Quantificação do uso e cobertura do solo em outubro de 1995.	37
Tabela 4 - Quantificação do uso e cobertura do solo em novembro de 2010.	42
Tabela 5 - Evolução para cada classe de uso e cobertura do solo nos períodos de outubro de 1995 a novembro de 2010.	42
Tabela 6 - Quantificação da evolução florestal entre outubro de 1995 e novembro de 2010.	47
Tabela 7 - Quantificação da evolução agrícola entre outubro de 1995 e novembro de 2010.	48
Tabela 8 - Áreas de Preservação Permanente x conflitos de uso da terra.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APPs – Áreas de Preservação Permanente

BGR – *Blue, Green, Red*

DPI – Divisão de Processamento de Imagens

ERTS-1 – *Earth Resources Technological Satellite-1*

FAO – *Food and Agriculture Organization*

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LEGAL – Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrica

MAXVER- Máxima Verossimilhança

MSS – *Multispectral Scanner*

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

PI – Plano de Informação

PIXEL – *Picture element*

RBV – *Return Beam Vidicom*

SBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SEMA- Secretaria do Meio Ambiente

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

TIN – *Triangular Irregular Network*

TM – *Thematic Mapper*

UFES – Universidade Federal de Santa Maria

UTM – Universal Transversa de Mercator

WFI – Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada

WRS – *World Reference System*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
	2.1 Uso e cobertura do solo	12
	2.2 Sensoriamento Remoto	13
	2.2.1 Processamento digital de imagens.....	16
	2.2.2 Satélites Landsat.....	19
	2.3 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIG)	20
	2.3.1 Aplicativo SPRING	23
	2.3.2 Análise espacial e temporal.....	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
	3.1 Localização e caracterização da área de estudo	27
	3.2 Materiais	29
	3.3 Metodologia	29
	3.3.1 Georreferenciamento das imagens	30
	3.3.2 Processamento digital de imagens.....	31
	3.3.3 Classificação digital de imagens	32
	3.3.4 Análise espacial em LEGAL	32
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
	4.1 Uso e cobertura do solo em 1995	35
	4.2 Uso e cobertura do solo em 2010	40
	4.3 Evolução florestal	47
	4.4 Evolução agrícola	48
	4.5 Conflitos de uso da terra em novembro de 2010	52
5	CONCLUSÃO	55
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1 INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto, juntamente com suas técnicas, apresenta-se como um importante instrumento para análise ambiental, sendo utilizado com frequência para a obtenção de dados sobre o espaço geográfico bem como no monitoramento e detecção de mudanças, auxiliando nos processos de decisão que envolve a gestão e o planejamento territorial.

A importância da aplicação de Sensoriamento Remoto para detectar mudanças na cobertura e uso do solo, ressaltado por Moraes e Bernardes (2011), se dá devido aos recursos ambientais desempenharem um papel estratégico na determinação do progresso econômico, social e cultural.

Neste contexto, a análise temporal das mudanças de uso do solo utilizando o Geoprocessamento permite a identificação dos tipos, extensão e localização das alterações nas características dos alvos e a proposição de cenários em função das condições atuais de determinado ambiente.

Steinke (2007) salienta que o Geoprocessamento, por meio da localização e do processamento de dados geográficos, é capaz de aglutinar diferentes áreas do conhecimento, proporcionando uma abordagem sistêmica da paisagem. E ainda que o mesmo representa um importante subsídio às pesquisas que envolvem a modelagem de sistemas ambientais, pois lida com a complexidade da dinâmica dos ambientes.

Moraes e Bernardes (2011), afirmam que, para compreender as recentes mudanças e realizar uma previsão dos cenários são necessários dados quantitativos e espacialmente identificados sobre como a cobertura do solo tem sido e como será modificada pela ação antrópica ao longo dos anos.

Em muitos estudos o aperfeiçoamento do Sensoriamento Remoto, aliado a técnicas de Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), têm proporcionado uma identificação mais precisa de mudanças na estrutura dos ecossistemas, contribuindo para avaliar os efeitos das alterações ambientais induzidas pelas mudanças climáticas, uso intensivo do solo e outros impactos antrópicos. Além disso, é visto que o Geoprocessamento pode fornecer, além de

informações sobre a natureza e direção das mudanças, indicações das principais forças-atuantes.

Com relação a esses estudos, a importância do uso da terra como subsídio básico de planejamento se dá pela identificação de diferentes paisagens geográficas, possibilitando a previsão de ampliação de áreas agrícolas, seus respectivos problemas e soluções, determinando áreas prioritárias a serem utilizadas para o uso agropecuário (MORENO, 1972).

De acordo com Menezes (2001) técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG podem ser utilizadas não só em áreas urbanas como também em regiões rurais. Estas permitem monitorar e analisar por meio de dados históricos a evolução do desmatamento ou a substituição de vegetação primária por culturas agrícolas e pastagem, com quantificação das áreas e o cumprimento à legislação ambiental.

Neste trabalho, a área escolhida para o estudo é a sub-bacia do Arroio Arenal, localizada no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Sendo o objetivo geral do mesmo, realizar uma análise multitemporal desta sub-bacia nos anos 1995 e 2010, caracterizando assim a dinâmica dos padrões de uso e cobertura do solo durante o período.

Como objetivos específicos, têm-se:

- realizar o mapeamento temático dos recursos naturais da sub-bacia através da classificação digital de imagens orbitais;
- identificar transições nos padrões de uso e cobertura do solo através da análise multitemporal de imagens orbitais;
- relacionar possíveis conflitos de uso do solo em Áreas de Preservação Permanente (APP).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Uso e cobertura do solo

Devido ao desenvolvimento da sociedade e o avanço da tecnologia, derivado das descobertas científicas, as interferências humanas aumentaram consideravelmente, principalmente em relação ao uso da terra e dos sistemas aquáticos (CUNHA; GUERRA, 1999 apud TRENTIN et al., 2007).

Trentin et al. (2007), salienta ainda que qualquer interferência do homem no meio ambiente pode ser perceptível em função da expansão econômica e demográfica, ampliando assim o uso dos recursos naturais. Neste contexto, a questão antrópica no ordenamento da paisagem local é vista como elemento integrante e articulador das transformações ocorridas no meio natural, e o uso da terra definido então como uma demonstração das relações socioeconômicas do território e indicador das fragilidades do ambiente.

Os conceitos de “cobertura” e “uso” do solo são similares, podendo se confundir em alguns casos, mas não equivalentes. De acordo com Briassoulis (1999), o termo *cobertura do solo* compreende a caracterização do estado físico, químico e biológico da superfície terrestre, por exemplo, floresta, gramínea, água, ou área construída; já *uso do solo* se refere aos propósitos humanos associados àquela cobertura, por exemplo, pecuária, recreação, conservação, área residencial, etc.

A mesma autora ainda afirma que uma única classe de cobertura da terra pode suportar diversos usos, ao mesmo tempo em que um único sistema de uso pode incluir várias coberturas, observando que as mudanças no uso da terra normalmente ocasionam o mesmo na cobertura do solo, entretanto, poderão ocorrer modificações na cobertura sem que isto signifique alterações em seu uso.

Assim, no contexto que busca analisar a dinâmica do uso e cobertura do solo, 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.

Baca (2002) menciona que a classificação multitemporal de imagens possibilita a análise da paisagem e o modo como cada um de seus elementos interage em sua dinâmica. E ainda faz uma complementação, que talvez os dados essenciais apareçam de observações da 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 células mudam de classe naquele intervalo de tempo.

2.2 Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto pode ser definido como a aplicação de dispositivos que, colocados em aeronaves ou satélites, nos permitem obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra, sem contato físico com eles (ROCHA, 2000, p.115).

A técnica de Sensoriamento Remoto é uma importante ferramenta para a obtenção de dados básicos e espaciais, possibilitando a realização de tarefas de proteção ambiental, auxiliando em decisões de planejamento, fornecendo estruturas básicas para a observação do meio (FONSECA, 2001).

Conforme Rocha (2000), com a evolução de sensores mais potentes, as imagens obtidas apresentam resoluções cada vez melhores. Esta característica associada às inovações das técnicas de extração de informação no processamento de imagens e ainda à sua periodicidade acaba aumentando sua utilização, nas mais diversas áreas de conhecimento, e possibilitando o monitoramento das mais diversas situações.

Complementando, Florenzano (2002) diz que os objetos de interesse na superfície da terra como a vegetação, a água, o solo e todo tipo de obra construída pelo homem refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, observando-se as características bio-físico-químicas dos elementos constituintes destes objetos.

Rocha (2000) afirma que para a obtenção de tais informações, a radiação eletromagnética é o meio pelo qual os dados do objeto chegam ao sensor, transformando-se através da sua frequência, intensidade e polarização em informação. As interações entre a radiação eletromagnética e os objetos variam ao longo do espectro eletromagnético (Figura1).

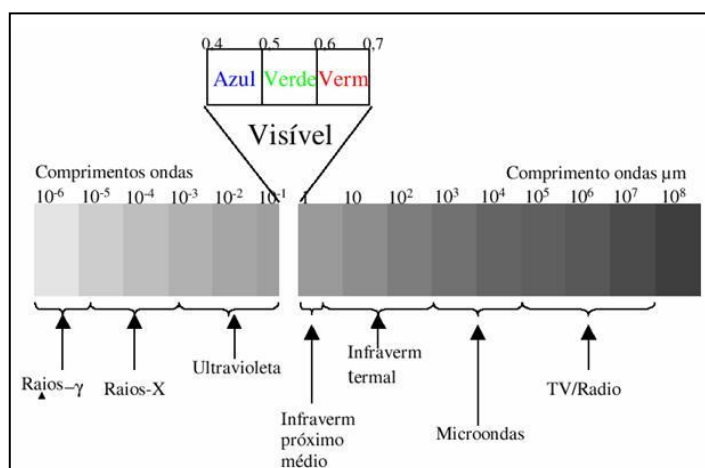


Figura 1 - Espectro Eletromagnético.

Fonte: FIGUEIREDO (2005).

Para Novo (1998), o sistema de aquisição de informações é formado por alguns subsistemas, entre os quais estão:

- *sistemas sensores*: equipamentos os quais focam e registram a radiação eletromagnética oriunda de certo objeto;
- *sistemas de processamento de dados*: que convertem o dado bruto produzido pelo sensor em variável física passível de ser interpretada e convertida em informação;
- *sistemas de análise*: incluem todas as ferramentas, dentre as quais destacam-se os SIG, que permitem integrar a informação derivadas de Sensoriamento Remoto às de outras fontes.

Os sensores que medem a radiação refletida pelos alvos, proveniente de uma fonte externa (Sol), são chamados *passivos*, pois não possuem uma radiação própria, dependendo de iluminação externa; e os sensores que possuem uma fonte de radiação, isto é, não dependem de uma fonte externa de iluminação para irradiar

o alvo, são denominados *ativos*, sendo que esse tipo de sensor emite um fluxo de radiação em determinada faixa espectral que interage com os alvos na superfície terrestre, e a parte que é então retroespelhada é captada por ele (MOREIRA, 2007)

Fonseca (2001) diz que “as imagens oriundas dos sistemas sensores possuem alguns parâmetros inerentes, como a resolução espacial, espectral, radiométrica, temporal e largura da faixa imageada”.

A *resolução espacial* é definida como por Silva (1995), como o “menor elemento de área que um sistema sensor é capaz de distinguir”. Determinando se o alvo pode ser identificado na imagem em função de seu tamanho. 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* define a capacidade do sensor de registrar a radiação em diferentes regiões do espectro. Está relacionada diretamente com o poder de extração da imagem (ROCHA, 2000).

A *resolução radiométrica* representa a menor diferença de brilho que um sistema sensor é capaz de perceber, determinando se o alvo pode ser visto na imagem em função de seu contraste com alvos vizinhos. Essa 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).

A *resolução temporal* representa a frequência com que a área de interesse é revisitada ou imageada (ROCHA, 2000). O autor ainda conceitua *largura da faixa imageada*, ou largura da faixa de varredura, como uma característica que varia de acordo com o satélite imageador. O satélite LANDSAT, por exemplo, possui a largura da faixa de imageamento de 185 Km.

Trentin et al. (2007), salienta que quanto à constituição de uma imagem digital, esta apresenta um conjunto de pontos (*pixel*), dispostos sob a forma de malha ou matriz, onde cada um representará uma unidade de informação do terreno com função bidimensional $f(x,y)$. Onde “x” e “y”, são coordenadas espaciais que definem a localização deste ponto, e o valor de “f” refere-se ao também conhecido atributo “z” proporcional ao brilho ou reflectância de radiação solar nas diversas bandas eletromagnéticas do sistema de satélite. Tais valores são transformados em tons de cinza, resultando em imagem do terreno naquele comprimento de onda da banda selecionada.

2.2.1 Processamento digital de imagens

As imagens de satélite permitem uma visão de conjunto e multitemporal, a qual permite acompanhar as transformações do espaço ao longo do tempo. A utilização do Sensoriamento Remoto no mapeamento do uso da terra de uma dada área tem papel fundamental, pois oferece a oportunidade da realização de um inventário sistemático da superfície terrestre, possibilitando a categorização dos diferentes usos da terra em classes (FONSECA, 2001).

O processamento digital de imagens de sensoriamento remoto trata das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins (Crosta, 2002).

A classificação digital é um processo de extração de informações temáticas em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Os métodos de classificação são usados para mapear áreas da superfície terrestre que apresentam um mesmo significado em imagens digitais, associando cada *pixel* a uma parte ou a um todo de um objeto do mundo real.

Segundo Schowengerdt (1997 apud SOUSA, 2006), a classificação de imagens é um processo utilizado para produção de imagens temáticas a partir da criação de categorias (tais como, vegetação, solo exposto, corpos d'água, ou toda e qualquer feição distinguível na imagem), através de análise visual.

Já para Fernandes e Gomes (2005), o processamento digital de imagens tem por objetivo a manipulação, a partir de técnicas computacionais que permitem o realce de feições espaciais, impossíveis de se obter antes pelos métodos analógicos de modo a tornar os detalhes contidos nas imagens mais facilmente perceptíveis ao usuário.

Dentre essas técnicas os autores citam a manipulação de contraste, composição colorida falsa-cor pelo modelo aditivo de cores RGB (Red, Green, Blue), transformação IHS (Intensity, Hue, Saturation), operações aritméticas entre bandas, filtragens espaciais, iluminações sintéticas, Análise por Principais Componentes (APC) e classificação.

A aplicação destas técnicas possibilita a produção de outras imagens contendo informações específicas, após a identificação, extração, condensação e

realce da informação de interesse, a partir dos dados de imagens brutas, o que permite a obtenção de resultados mais confiáveis (INPE, 2011).

De acordo com Crosta (2002), existem duas abordagens na classificação de imagens multiespectrais de Sensoriamento Remoto. A classificação não supervisionada baseia-se no princípio de que o algoritmo do computador é capaz de identificar por si só as classes dentro de um conjunto de dados. Os métodos de classificação supervisionada fundamentam-se na disponibilidade prévia de amostras representativas, identificadas na imagem, para cada classe de interesse.

A classificação supervisionada foi o procedimento utilizado neste estudo, e será, portanto, abordada com maior detalhamento. Este método consiste basicamente em utilizar informações de *pixels* com padrão bem definido para identificar (classificar) *pixels* de padrão indefinido. De acordo com Fernandes e Gomes (2005), neste processo o analista deverá selecionar áreas de interesse dentre as feições mais homogêneas da imagem, onde deverão ser adquiridas amostras de treinamento, que servirão de parâmetro para que o *software* reconheça os demais *pixels* da imagem, aplicando estatística multivariada a espaços amostrais.

É importante salientar que, para a classificação supervisionada das imagens dessa pesquisa, será utilizado o método da máxima verossimilhança (MAXVER) que, de acordo com Venturieri e Santos (1998), complementando a citação acima, baseia-se no cálculo da distância estatística entre cada *pixel* e a média dos níveis de cinza da classe previamente definida a partir das amostras de treinamento, cuja seleção deve refletir a variabilidade de cada categoria dentro da área estudada, não existindo um número ideal dessas amostras para representar a classe de interesse.

Na avaliação dos resultados da classificação supervisionada, utilizou-se o índice Kappa, considerando que este é citado como um dos parâmetros mais utilizados e eficientes para quantificar a exatidão de levantamentos de uso da terra, sendo obtido mediante a adoção de uma referência para comparação dos mapeamentos produzidos.

Nesse caso, a análise da exatidão dos mapeamentos é obtida através de matrizes de confusão ou matrizes de erro, que apresentam a distribuição de porcentagem de *pixels* classificados corretamente e incorretamente, sendo posteriormente calculado o índice Kappa de concordância. A confiabilidade da matriz de erros depende da amostragem, registro e conhecimento, sendo importante que a amostra

de treinamento seja homogênea e representativa da classe de interesse (FERRARI, 2008).

A autora ainda destaca que o índice Kappa é um coeficiente baseado na diferença entre concordância observada (diagonal principal da matriz de confusão com a concordância entre a classificação e os dados de referência) e a chance de concordância entre os dados de referência de uma classificação aleatória (produto entre os totais marginais da matriz). A equação que fornece o valor de *Kappa* é apresentada a seguir:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ij} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}$$

Onde: r = Número de classes; x_{ij} = Número de elementos classificados corretamente; x_{i+} = Total de elementos classificados para uma categoria i ; x_{+i} = Total de elementos de referência amostrados para uma categoria i ; N = Número total de amostras.

O valor do coeficiente de Kappa (K) varia entre -1 e 1, em que o valor 1 representa uma completa concordância entre a imagem classificada com o dado de referência. O valor K pode ser comparado como os valores e conceitos contidos na Tabela 1, desenvolvidos por Landis e Koch (1977 apud FERRARI, 2008), e dessa forma, avaliar o mapa temático obtido da classificação da imagem.

Tabela 1 - Qualidade da classificação segundo intervalo do coeficiente Kappa.

Valor do Kappa	Qualidade da Classificação
< 0,00	Péssima
0,0 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977 apud FERRARI, 2008).

O programa de satélites 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. No dia 23 de Julho de 1972 a NASA (National Aeronautics and Space Administration) lançou nos Estados Unidos um primeiro satélite chamado ERTS 1 (Earth Resources Technology Satellites). Este Programa Espacial foi em 1975 rebatizado de "Landsat".

Os modelos 1, 2 e 3 do Landsat, 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. O Landsat -4, e 6 não obtiveram sucesso, o primeiro foi desativado devido ao mal funcionamento, e no segundo a plataforma não chegou a entrar em órbita. Depois disso a NASA lançou o Landsat -5, com um novo sistema sensor a bordo, o *Thematic Mapper* (TM), o qual registra dados em sete canais ou 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). E ainda 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), dos outros Landsats (INPE, 2011).

Neste estudo foram utilizadas imagens oriundas do satélite Landsat-5 TM, lançado em 01/03/84 e ativo até o momento. Em consequência disto o mesmo será abordado com maiores detalhes. Sendo que, as principais características de cada banda espectral deste satélite podem ser observadas a seguir (INPE, 2011):

- *Banda 1* (Intervalo Espectral: 0,45 - 0,52 μ m): Apresenta grande penetração em corpos de água, e sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.

- *Banda 2* (intervalo espectral: 0,52 - 0,60 μ m): apresenta boa penetração em corpos de água, e grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade.

- *Banda 3* (intervalo espectral: 0,63 - 0,69 μ m): a vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste

entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos.

- *Banda 4* (intervalo espectral: 0,76 - 0,90 μ m): os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Permite a identificação de áreas agrícolas.

- *Banda 5* (intervalo espectral: 1,55 - 1,75 μ m): apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar desgaste na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.

- *Banda 6* (intervalo espectral: 10,4 - 12,5 μ m): apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.

- *Banda 7* (intervalo espectral: 2,08 - 2,35 μ m): apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Esta banda serve para identificar minerais com ions hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal (INPE, 2011).

2.3 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Com o advento da informática na automação de processos, surgiram ferramentas para a captura, armazenamento, processamento e apresentação de informações espaciais georreferenciadas, sendo que a ligação técnica e conceitual dessas ferramentas propiciou o desenvolvimento da tecnologia de processamento de dados geográficos, denominada de Geoprocessamento (BOLFE, 2001).

Segundo Câmara e Medeiros (1998), o objetivo principal desta ciência, é fornecer ferramentas computacionais para que diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico, bem como as interrelações entre diferentes fenômenos. Os mesmos autores dizem que o uso do Geoprocessamento em projetos ambientais requer o emprego intensivo de técnicas de integração de dados. Para serem feitos de forma detalhista, os projetos requerem que o especialista combine ferramentas de análise espacial, processamento de imagens, geoestatística e modelagem numérica do terreno.

Atualmente 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 Geoprocessamento que, aliado a técnicas de SIG, permite avaliar, no espaço temporal, o uso dos recursos naturais, bem como realizar projeções dinâmicas do uso e cobertura da terra.

Ao se falar em Geoprocessamento, é indispensável o uso dos SIG, definidos como sistemas destinados ao tratamento automatizado de dados georreferenciados, que manipulam dados de diversas fontes e formatos, dentro de um ambiente computacional ágil e capaz de integrar as informações espaciais temáticas e gerar novos dados derivados dos originais (BENEDETTI, 2006).

Os conceitos relacionados aos SIG são encontrados na literatura bastante diversificados devido sua utilização por várias áreas científicas ou domínios da atividade humana, tais como: recursos naturais, planejamento urbano, agricultura, geografia, informática, meio ambiente, Sensoriamento Remoto, etc. (CÂMARA, 1993).

Os SIG necessitam utilizar o meio digital e, por esse motivo, o uso intensivo da informática se torna imprescindível, devendo existir uma base de dados integrada, em que esses dados precisam estar georreferenciados e com controle de erro, contendo funções de análises desses dados que variem com a álgebra cumulativa (operações tipo soma, subtração, multiplicação, divisão etc.) até a álgebra não cumulativa (operações lógicas). Percebe-se que os SIG têm inter-relações com inúmeras técnicas e tecnologias (SILVA, 2003).

Câmara e Medeiros (1998) indicam como principais características do SIG 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 de 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.

Os dados utilizados em SIG podem ser divididos em dois grandes grupos, denominados de dados gráficos, espaciais ou geográficos, os quais descrevem as características geográficas da superfície terrestre (forma e posição) e dados não gráficos, alfanuméricos ou descritivos, que descrevem os atributos dessas características (ROCHA, 2000).

Segundo o mesmo autor, dados cartográficos, fotografias aéreas, imagens de satélites e mapas temáticos são armazenados no banco de dados geográficos de um SIG em duas grandes classes de representação, a forma vetorial (vetor) e a 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, em que cada uma das células, chamadas de *pixel*, é endereçada por meio de suas coordenadas (linha, colunas), sendo que cada *pixel* está associado a valores que serão sempre números inteiros e limitados, geralmente entre 0 e 255.

Já, os dados alfanuméricos podem ser subdivididos em dois atributos, que são os dos dados espaciais e os dos 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 (ROCHA, 2000).

Nesse contexto, também é necessário uma abordagem em relação aos tipos de mapas de dados geográficos, destacando-se os mapas temáticos e os mapas cadastrais. Os mapas temáticos descrevem, de forma qualitativa, a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, como os mapas de aptidão agrícola de uma determinada região, sendo que esses dados são obtidos a partir de levantamento de campo e inseridos no sistema por digitalização ou, de forma mais automatizada, a partir de classificação de imagens. Os mapas cadastrais distinguem-se dos

temáticos, pois cada elemento é considerado como um objeto geográfico, possuindo atributos e podendo estar associados a várias representações gráficas (ASSAD e SANO, 1998).

Sabins (1999) salienta que, quando o mapeamento do uso da terra estiver associado aos SIG 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.

2.3.1 Aplicativo SPRING

O SPRING é um SIG no estado-da-arte com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais (INPE, 2011)

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que elaborou o software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), este é um SIG para ser utilizado em ambiente UNIX e Windows, operando também como um sistema gerenciador de banco de dados que suporta um grande volume de informações, mantendo a identidade dos objetos geográficos, não apresentando limitações de escalas, projeções e fusos, permitindo a manipulação de dados vetoriais e matriciais. Este *software* também realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto com dados espaciais não-espaciais.

Para que o desempenho do SPRING tenha sucesso, este *software* é baseado em um modelo de dados, orientado a objetos, do qual são derivadas sua interface de menus e a linguagem espacial LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrica). Algoritmos inovadores, como os utilizados para indexação espacial, segmentação de imagens e geração de grades triangulares, garantem o desempenho adequado para as mais variadas aplicações.

Conforme Hendges (2007), o SPRING, apresenta um conjunto de objetos componentes de um mapa, que têm como características básicas o fato de serem tratados como um Plano de Informação (PI), em que um *projeto* que serve para definir a projeção cartográfica e delimitar a área de estudo, cada *PI* está associado a

uma *categoria* e, conseqüentemente, refere-se a um único modelo de dados (temático, numérico, imagem, cadastral ou rede). As representações de um *PI* são diferenciadas em função do modelo de dados ao qual pertencem; por exemplo, um *PI* de categoria numérica poderá ter como representações: amostras (pontos e linhas), grade regular, grade triangular (TIN) ou isolinhas.

Existem diferentes formas de classificação de objeto da paisagem quando são incorporados em um banco de dados no SPRING, como pode ser visualizado a seguir (FERRARI, 2008):

- *Temático*: podem ser: - Pontos, apresentação de todos os pontos 2D; Linhas, apresentação de todas as linhas que definem ou não polígonos; Matriz, formato matricial dos vetores; Classes, apresentação de pontos/linhas/polígonos que estão associados às classes, com seus respectivos visuais; Texto, toponímia gerada automaticamente ou editada.

- *Numérico*: podem ser: Amostras, pontos cotados e isolinhas importadas ou editadas; Grade, grade retangular; TIN, grade triangular; Isolinhas, isolinhas geradas a partir de grade; Imagem, imagem em níveis de cinza da grade; Texto, toponímia gerada automaticamente ou editada.

- *Imagem*: pode ser representada por: M, canal monocromático; R, canal vermelho; G, canal verde; B, canal azul; Texto, toponímia editada sobre a imagem; Sintética, codificação de três bandas em uma única imagem; Classificada, imagem criada por processos de classificação; Rotulada, linhas criadas pela segmentação de imagens.

- *Rede*: representadas por: Linhas, apresentação de todas as linhas; Objetos, apresentação das linhas/nós que estão associados a objetos, com seus respectivos visuais; Texto, toponímia gerada automaticamente ou editada. - Cadastral: podem ser: Pontos, apresentação de todos os pontos 2D; Linhas, apresentação de todas as linhas que definem ou não polígonos; Objetos, apresentação de pontos/linhas/polígonos que estão associados aos objetos, com seus respectivos visuais; Texto, toponímia gerada automaticamente ou editada (FERRARI, 2008).

2.3.2 Análise espacial e temporal

Um SIG pode ser diferenciado de outros tipos de sistemas de informação pelas suas funções, que possibilitam a realização de análises espaciais (geográficas). Estas funções utilizam atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais, buscando fazer simulações ou modelos sobre os fenômenos do mundo real, seus aspectos ou parâmetros (INPE, 2011).

Conforme Teles (2001), a análise espacial 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. 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 é 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. É um tipo de análise que avalia a estrutura espacial do objeto gerada por suas distintas dimensões, onde estas, antes desconexas e tratadas independentemente, reúnem-se gerando uma forma única – a forma espacial (GIOVANI e 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.

O SPRING possui uma linguagem de programação denominada LEGAL, constituída de uma lista de sentenças que descreve um procedimento ou um conjunto de ações sobre dados espaciais, para consulta e manipulação.

Conforme Pereira e Silva (2006) tais sentenças são estruturadas em quatro grandes grupos, são eles:

- *Declarações*, as quais definem variáveis que serão associadas aos dados fornecidos num programa. Uma variável consiste de um nome, que é então associado a um modelo e uma categoria que irão caracterizar os planos de informação;

- *Instanciações*, 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. Correspondem à uma operação de recuperação de dados já existentes, ou de criação de um novo dado representado em algum plano de informação.

- *Operações*, que correspondem à aplicação de operadores sobre as variáveis declaradas e instanciadas previamente; são descritas por expressões algébricas, segundo regras gramaticais que permitem a definição recursiva de operações complexas à partir de outras mais simples, com base nas propriedades dos dados e operadores envolvidos.

- *Comandos*, permitem o controle do fluxo de processamento de um programa, são fundamentais para a modelagem de situações que envolvam a execução alternativa, condicional ou repetitiva de conjuntos de operações.

Cada sentença em LEGAL descreve uma operação de atribuição, que consiste em atribuir o resultado da avaliação de uma expressão algébrica a uma variável definida pelo programa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

A sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal, local escolhido para este trabalho, pertence à bacia hidrográfica do Rio Vacacaí, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Está situada entre as coordenadas geográficas $29^{\circ}37'18''$ e $29^{\circ}54'25.5''$ de latitude sul e $54^{\circ}06'23.7''$ e $53^{\circ}36'40.4''$ de longitude oeste, correspondendo, no Sistema UTM – Projeção Universal Transversa de Mercator – às coordenadas 6719700 e 6688400mN e 779850 e 246800mE, respectivamente. A localização da área no Rio Grande do Sul pode ser observada no esquema abaixo (Figura 2).

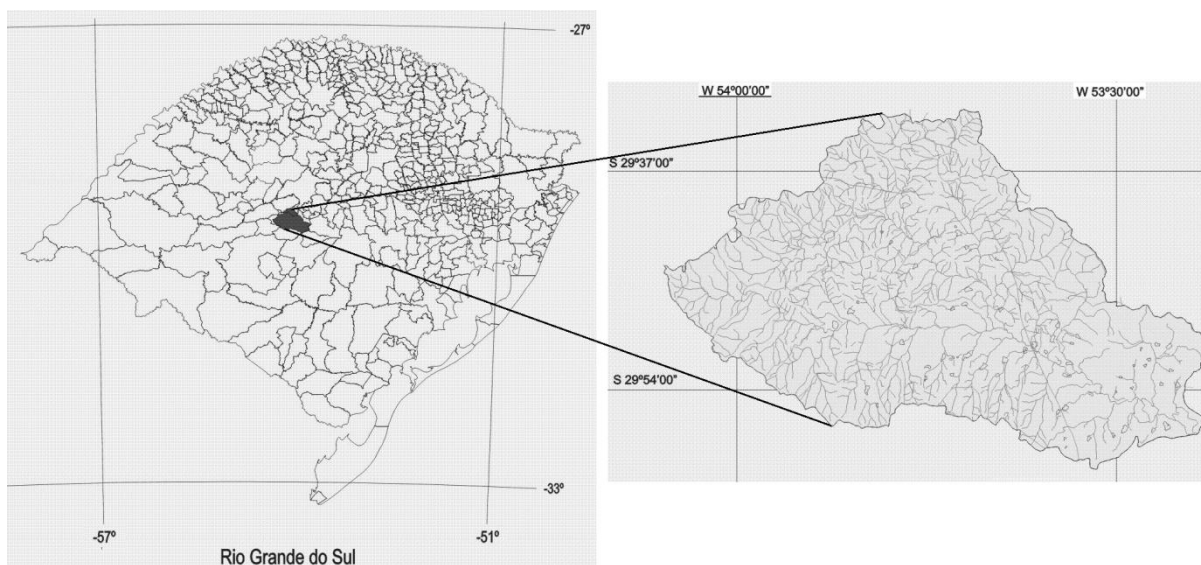


Figura 2- Localização da sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal.

Limita-se 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 (BENEDETTI, 2006).

De acordo com Osório (2002), as formas de uso e ocupação do solo são consideravelmente diversificadas, destacando-se, a área urbana do município de Santa Maria e ainda áreas de cultivos agrícolas, de pecuária e atividades de extração mineral, principalmente de areia.

Compreende uma área territorial 850,08 km², sendo que de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), 35,4 km² correspondem à área urbana do município de Santa Maria.

A sub-bacia do Arroio Arenal está localizada 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 et al., 2002).

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. Já o clima dominante, baseado na classificação de W. Köppen, é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical úmido, com chuvas regulares em todos os meses do ano.

Com relação à vegetação da sub-bacia em questão, podem ser observadas duas formações vegetais típicas. A primeira é a Floresta Estacional Decidual, encontrada no Rebordo do Planalto (Serra Geral). E a outra 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 de galerias.

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

3.2 Materiais

Na execução dessa pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais cartográficos:

- Imagens *Thematic Mapper* (TM) do satélite LANDSAT 5 órbita-ponto: WRS 223-081 de 14 de outubro de 1995 e 08 de novembro de 2010, nas bandas espectrais 1,2, 3, 4, 5.

Todas as imagens, com resolução espacial de 30 metros, foram obtidas gratuitamente via internet, através da Divisão de Processamento de Imagens – DPI do INPE.

Já os materiais de processamento e análise compreendem computadores, periféricos e aplicativos computacionais.

3.3 Metodologia

A realização do trabalho compreendeu inicialmente a aquisição das imagens Landsat 5, sensor TM. Após essa etapa foi realizado, com o auxílio do módulo IMPIMA do aplicativo SPRING, o recorte da área de interesse e a conversão das imagens para o formato GRIB (*.grb), formato padrão utilizado nos processamentos realizados neste *software*, a partir de outros formatos, neste caso GeoTIFF.

Após este processo, as imagens foram importadas no módulo SPRING, para o banco de dados espaciais, previamente criado por Benedetti (2006), para estudos de uso e cobertura do solo na referida sub-bacia, entre o período de 1995 e 2005.

A metodologia descrita a seguir compreende as etapas realizadas durante a execução do trabalho, as quais são: georreferenciamento das imagens, processamento digital das imagens, classificação digital das imagens, e análise espacial em linguagem LEGAL.

3.3.1 Georreferenciamento das imagens

O georreferenciamento é uma operação de correção geométrica, fazendo uma relação entre coordenadas de imagem (linha, coluna) com coordenadas de um sistema de referência, corrigindo assim distorções espaciais e inserindo precisão cartográfica no posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos representados em imagens (RUFINO e DAYA, 2004).

Apesar de possuírem um sistema de georreferenciamento oriundo do satélite, as imagens passaram por um novo processo de georreferência, compatibilizando-as assim com as imagens já presentes no banco de dados utilizado.

Assim, para o registro destas imagens foram selecionados 10 (dez) pontos de controle em toda a área de abrangência da imagem, buscando uma boa disposição e posicionamento dos pontos, para enfim obter uma melhor precisão na georreferência da imagem.

O Erro Médio Quadrático (RMS Error) para esta operação ficou estimado em 0.365248. Este valor é uma medida relativa do erro de ajuste entre as feições do *pixel* e do ponto de referência através do método dos mínimos quadrados, sendo que quanto menor o RMS (0-1), maior a precisão do georreferenciamento.

Tabela 2 - Pontos de georreferência do mosaico de imagens.

Ponto	Latitude (s)	Longitude (o)
1	29°52'45,51"	53°37'44,71"
2	29°51'21,39"	53°44'32,58"
3	29°51'20,60"	53°44'49,52"
4	29°47'40,87"	53°48'15,14"
5	29°43'57,93"	53°47'56,09"
6	29°45'51,93"	54°00'14,79"
7	29°45'3,49"	53°53'40,82"
8	29°43'1,16"	53°50'59,28"
9	29°42'23,08"	53°52'38,96"
10	29°46'59,39"	53°49'16,72"

3.3.2 Processamento digital de imagens

Foram executados procedimentos básicos de processamento de imagens, como: técnica de contraste linear e recortes da área de interesse. Para a obtenção de uma melhor visualização e identificação dos alvos em estudo, e para a aquisição de amostras de treinamento, utilizadas na classificação digital das imagens, elaborou-se composições coloridas falsa-cor, BGR 1, 2, 3 BGR 2, 3, 4 e BGR 3, 4, 5.

Com relação à combinação de bandas do satélite Landsat, o INPE (2011) recomenda as seguintes combinações para composições coloridas:

- Bandas 1, 2 e 3: imagens em cor natural, com boa penetração de água, realçando correntes, turbidez e sedimentos; a vegetação aparece em tons esverdeados.

- Bandas 2, 3 e 4: definem melhor os limites entre solo e água, mantém algum detalhe em águas profundas e mostra 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.

Após a definição do contraste linear, ilustrado na Figura 3, as imagens foram salvas como sendo uma composição sintética.

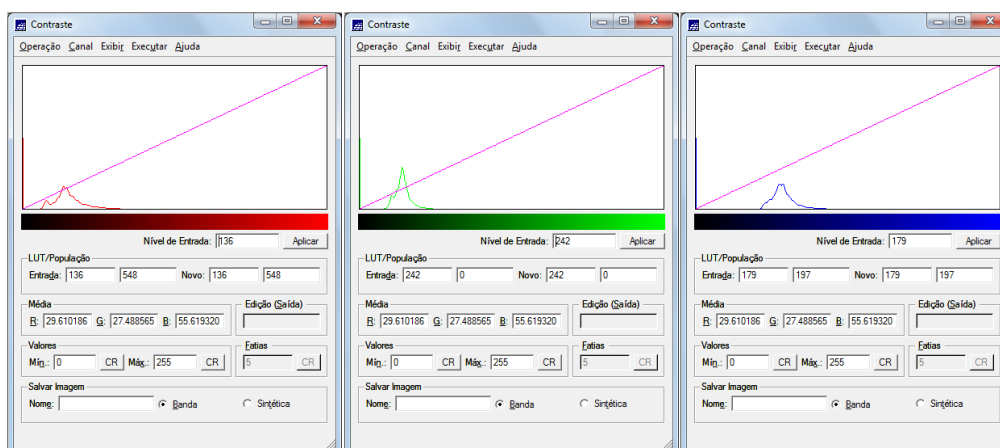


Figura 3 - Imagens da tela de contraste no aplicativo SPRING.

Com a utilização do polígono limite, ou máscara, correspondente à área da sub-bacia do Arroio Arenal, disponibilizado no banco de dados utilizado, foi possível fazer um recorte desta área para melhor visualização e trabalhabilidade.

3.3.3 Classificação digital de imagens

Neste estudo, utilizou-se o método de classificação digital conhecido como classificação supervisionada, ou de *pixel a pixel*. Sendo que o método de classificação supervisionada escolhido foi o de Máxima Verossimilhança (MAXVER), com limiar de aceitação de 100%.

Para a aplicação do mesmo, foi adquirido um número expressivo de *pixels* para cada amostra de treinamento, garantindo assim resultados mais precisos. Foram escolhidas amostras significativas, de alvos distintos para diminuir a confusão entre classes, a fim de reduzir a sobreposição entre as distribuições de probabilidades.

Nesse procedimento, foram adotadas as classes: *Floresta, Regeneração, Campo, Água, Agricultura Irrigada, Culturas, Solo Exposto e Área Urbana*. Para cada uma destas classes foram coletadas, de acordo com a interpretação das imagens, uma média de 15 amostras.

Finalizado o processo de classificação digital, foram obtidos mapas temáticos de uso e cobertura do solo para a data analisada, sendo possível a partir destes, realizar a quantificação da área de cada uma das classes adotadas, bem como investigar as mudanças ocorridas no período entre os anos de 1995 e 2010.

3.3.4 Análise espacial em LEGAL

Através de programação em LEGAL, e com base no mapeamento temático elaborado para anos de 1995 e 2010, foram gerados os mapas de evolução florestal e evolução agrícola.

O mapa temático de evolução florestal foi feito a partir do cruzamento entre as bases temáticas relativas ao período de outubro de 1995 e novembro de 2010. Este mapa mostra áreas de manutenção florestal, onde a classe floresta está presente nas duas datas observadas. Áreas de desflorestamentos, ou desmatamentos, entendidas como aquelas que a classe temática floresta foi suprimida em função das outras classes de uso do solo, como culturas, regeneração, agricultura irrigada, campo, solo exposto e água. E áreas de reflorestamentos, ou regeneração, onde a floresta tomou lugar das classes de uso e cobertura do solo citadas.

Em relação ao mapa de evolução agrícola, foram cruzadas as bases temáticas do mesmo período, neste caso focado nas áreas agrícolas. O mapa mostra áreas consideradas de redução agrícola, onde as classes temáticas de culturas, agricultura irrigada e solo exposto foram substituídas pelas demais classes temáticas. Áreas de expansão agrícola também foram observadas, sendo aquelas em que as classes culturas, agricultura irrigada e solo exposto aparecem em locais anteriormente ocupados pelas outras classes. E ainda áreas de manutenção agrícola, onde as mesmas não sofreram alterações durante o período, podendo estar ocupadas por qualquer uma das classes que caracterizam atividades agrícolas.

O mapa de áreas de conflito de uso do solo foi gerado através do cruzamento entre o mapa de uso do solo de novembro de 2010 e o mapa de Áreas de Preservação Permanente (APP) da sub-bacia.

As APP são definidas como áreas de grande importância ecológica, cobertas ou não por vegetação nativa, que têm como função preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas.

Essas áreas são definidas e protegidas pela Lei Federal nº 4.771/65 (alterados pela Lei Federal nº 7.803/89), que institui o Código Florestal de 1965, 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.

A partir de cartas topográficas e da rede hidrográfica da sub-bacia, previamente criada, foi elaborado um mapa de distâncias no qual atribuiu-se uma faixa marginal de 30 metros ao longo dos cursos d'água, áreas num raio de 50 metros ao redor das nascentes e delimitados os topos de morros.

Dessa forma, todo o tipo de uso e ocupação do solo encontrado sobreposto às APP, como em áreas marginais à rede de drenagem, nas áreas de nascentes, em topo de morros, bem como em declividades superiores a 47%, contabilizadas a partir de um mapa clinográfico elaborado previamente no mesmo banco de dados; foram consideradas áreas de conflito.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Uso e cobertura do solo em 1995

O processo de classificação digital das imagens do ano de 1995 foi realizado de forma supervisionada, por meio do método da Máxima Verossimilhança (MAXVER), com limiar de aceitação de 100%, descrito anteriormente na metodologia deste estudo.

Os padrões de uso e cobertura do solo amostrados e mapeados neste estudo foram determinados com base nas observações das imagens, após o devido processamento. Sendo definidas as seguintes classes temáticas:

- **Floresta**, considerando toda e qualquer formação florística de porte arbóreo, sendo as florestas nativas de ocorrência natural, localizadas geralmente nas áreas de encosta, as matas ciliares encontradas ao longo da rede de drenagem, e atendendo ainda florestas implantadas com espécies exóticas.

- **Regeneração**, entendida como constituições florísticas em formação, capoeiras consideradas como formação vegetal sucessora, proveniente do corte raso de florestas ou áreas abandonadas, constituídas principalmente por espécies pioneiras nativas da região com porte de no máximo três metros de altura.

- **Campo**, compreendendo os campos nativos e ainda pequenas áreas de pastagem implantadas.

- **Água**, onde estão inseridos açudes, barragens e canais fluviais, podendo também, em alguns casos, aparecer áreas inundadas para o cultivo do arroz.

- **Agricultura irrigada**, classe representada pela lavoura orizícola, presente principalmente ao longo dos principais cursos d'água da sub-bacia.

- **Culturas**, consideradas áreas ocupadas com cultivos agrícolas, em pequenas e grandes propriedades.

- **Solo exposto**, classe temática representada por áreas de terra preparadas para o cultivo, culturas recentemente implantadas e áreas de voçorocas e ravinas provocadas por processos erosivos e ainda afloramento de rochas.

- **Área urbana**, constituída pela zona urbana do município de Santa Maria, presente na porção norte da sub-bacia do Arroio Arenal.

A Figura 4, a seguir, mostra a imagem sintética utilizada para a definição das classes temáticas mencionadas.

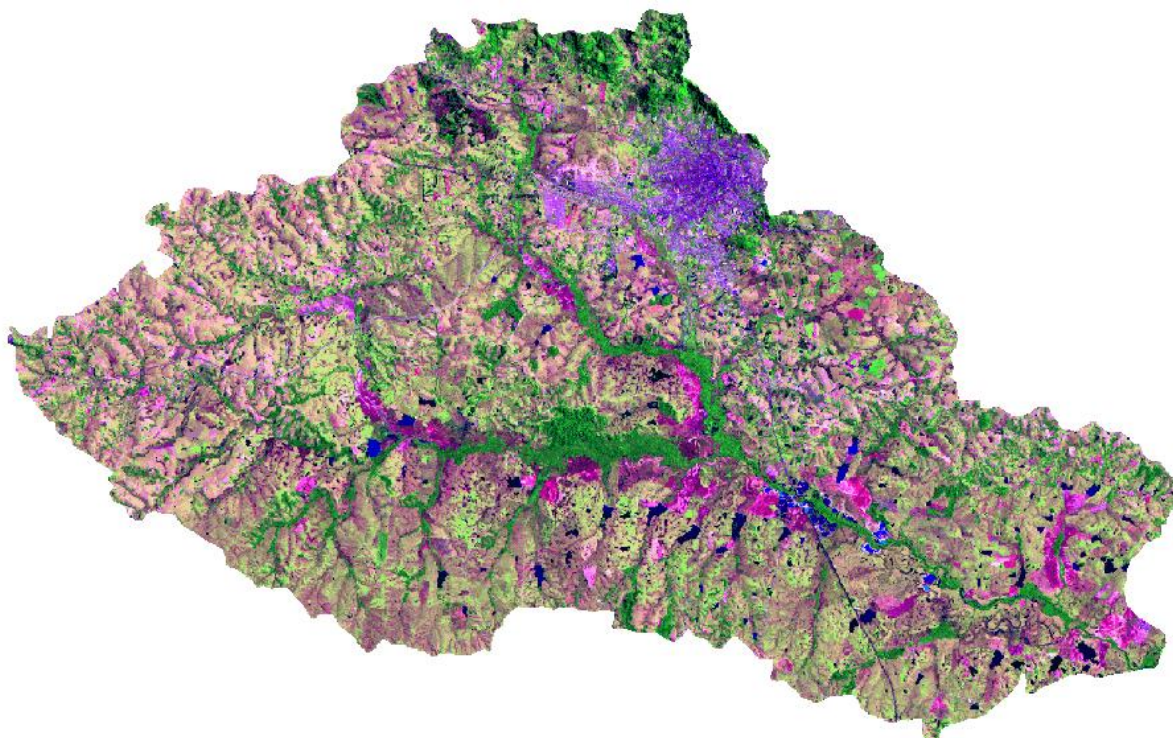


Figura 4 - Imagem da composição BGR 3,4,5 da sub-bacia do Arroio Arenal em outubro de 1995.

Com o processamento e a classificação digital das imagens LANDSAT, foi possível analisar e quantificar a ocupação do solo na sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal. Estes resultados estão demonstrados na Tabela 3.

Pela quantificação das classes de uso da terra, para esta sub-bacia, foi encontrada uma área total de 85.008,478 ha.

Tabela 3 - Quantificação do uso e cobertura do solo em outubro de 1995.

CLASSES	1995 (ha)
Floresta	9.912,66
Regeneração	5.457,68
Campo	58.887,81
Água	1.117,13
Agricultura Irrigada	2.571,42
Culturas	602,503
Solo Exposto	3.497,51
Área Urbana	2.961,77
TOTAL	85.008,48

Em outubro de 1995, 9.912,66 ha da área em estudo corresponderam à classe floresta. São observadas principalmente ao longo de canais fluviais, nas encostas de morros do rebordo do Planalto Meridional ao norte da sub-bacia, e ainda dispersas em toda área. Alguns plantios florestais de espécies exóticas (gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*) podem ser encontrados próximo à área urbana de Santa Maria.

Quanto às áreas de regeneração, estas totalizaram 5.457,68 ha, geralmente associada às áreas florestais. São compostas de capoeiras e espécies arbóreas pioneiras em formação.

Os campos são predominantes na paisagem regional, ocupando 58.887,809 ha em outubro de 1995. Estão localizados nas áreas de relevo suave a ondulado, denominadas de coxilhas, muitas vezes usadas para o criatório extensivo de bovinos. São constituídas de gramíneas ora esparsas e pouco desenvolvidas, ora com bom grau de desenvolvimento, sendo assim chamados de campos sujos, potencializando de forma distinta a ocupação de animais.

A classe referente às lâminas d'água ocupou 1.117,131 ha da área total da sub-bacia. Nesta classe são considerados os reservatórios naturais ou artificiais usados para o abastecimento e principalmente para a irrigação da lavoura orizícola. Barragens e açudes estão em grande número na porção centro-sul, região de várzea do Arroio Arenal.

A agricultura irrigada, representada principalmente pela cultura do arroz, compreendeu 2.571,42 ha. Estão inseridas nas áreas de várzea, ao longo dos arroios, ocupando preferencialmente áreas planas e patamares nas margens dos cursos d'água, sobretudo na porção central da sub-bacia.

A classe culturas ocupou uma área de 602,503 ha. Nesta data, sua ocorrência pode ser observada em reduzidas lavouras encontradas nesta época do ano.

Em outubro de 1995, os solos expostos ocuparam 3.497,507 ha. Nesta classe, estão inseridas áreas lavradas para a introdução de culturas agrícolas ou em pousio. Aparecem muitas vezes associadas à agricultura irrigada pelo preparo do solo neste período do ano.

A classe área urbana totalizou nesta data 2.961,77 ha. Esta e as demais classes de uso e cobertura do solo mapeadas estão ilustradas a seguir (Figura 5).

Para a validação das amostras utilizadas no processo de classificação, foi calculado o índice Kappa, considerado um dos parâmetros mais eficientes para quantificar a precisão de levantamentos de uso do solo. Para outubro de 1995 este índice totalizou 0,9371, indicando excelência na qualidade de classificação, conforme valores e conceitos, desenvolvidos por Landis e Koch (1977 apud FERRARI, 2008).

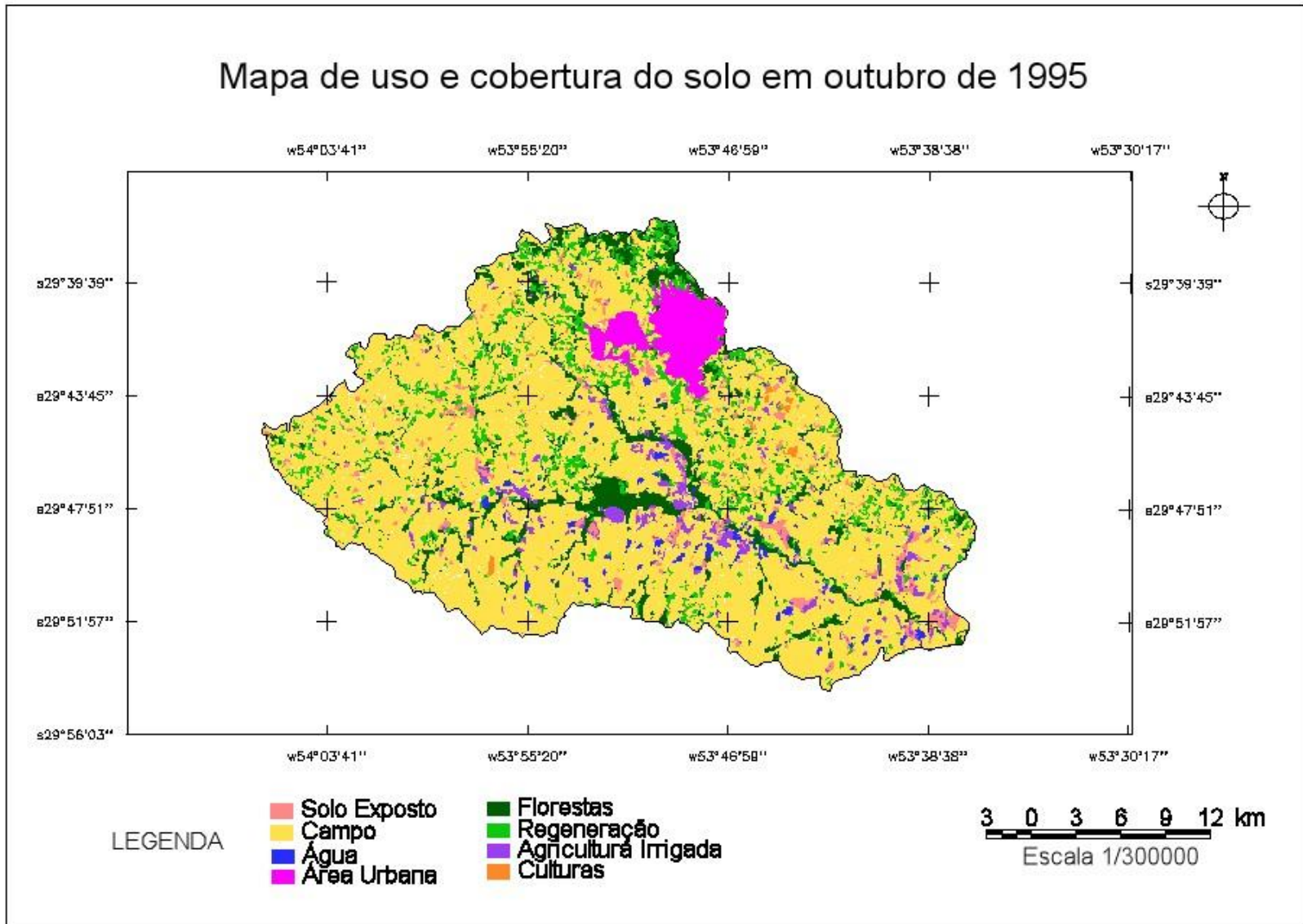


Figura 5 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do Arroio Arenal em outubro de 1995.

4.2 Uso e cobertura do solo em 2010

O processo de classificação digital das imagens do ano de 2010, assim como em 1995, foi realizado de forma supervisionada, por meio do método da Máxima Verossimilhança (MAXVER), com limiar de aceitação de 100%. Logo após foram amostradas e mapeadas as mesmas classes temáticas definidas anteriormente, para posterior comparação.

Neste caso a amostragem e o mapeamento foram realizados baseando-se na análise das composições ilustradas a seguir (Figura 6, Figura 7 e Figura 8).

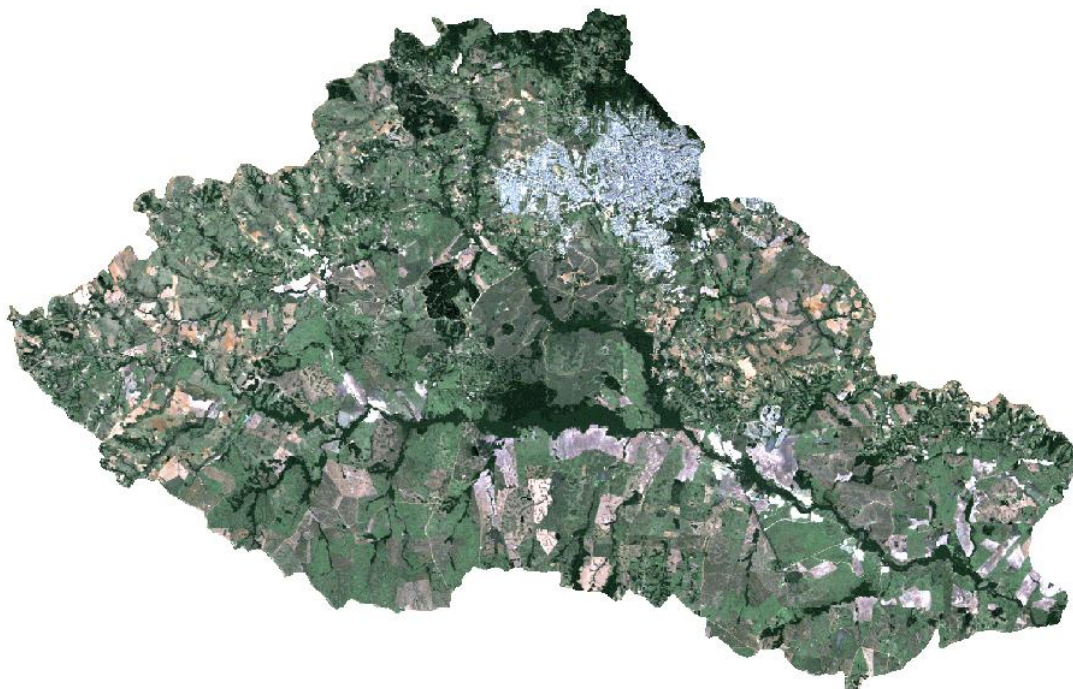


Figura 6 - Imagem da composição BGR 1,2,3 da sub-bacia do Arroio Arenal em novembro de 2010.

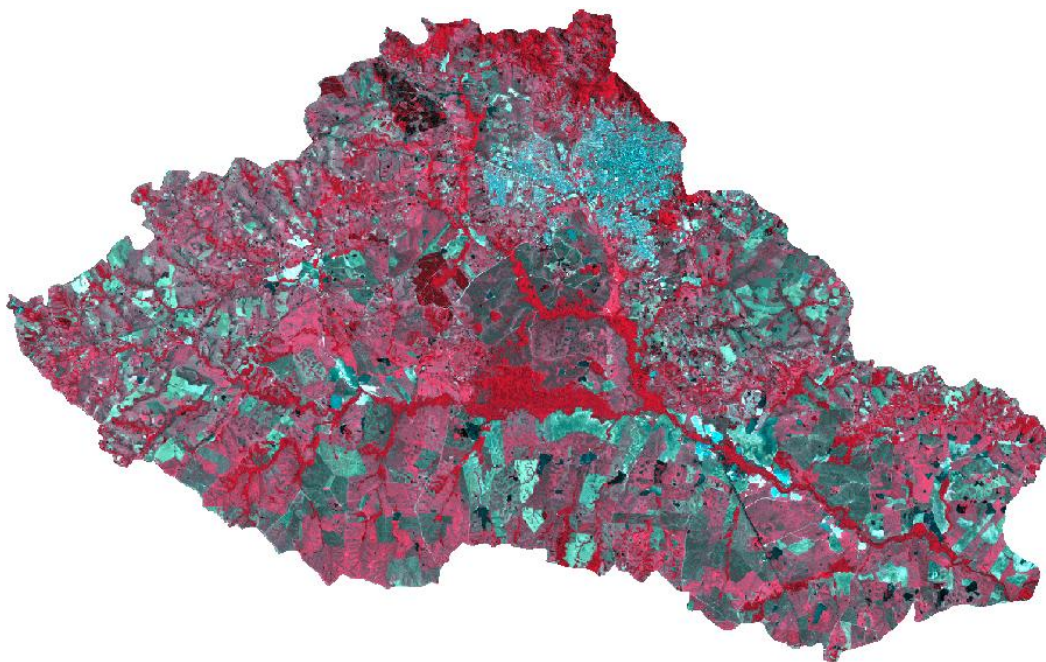


Figura 7 - Imagem da composição BGR 2,3,4 da sub-bacia do Arroio Arenal em novembro de 2010.

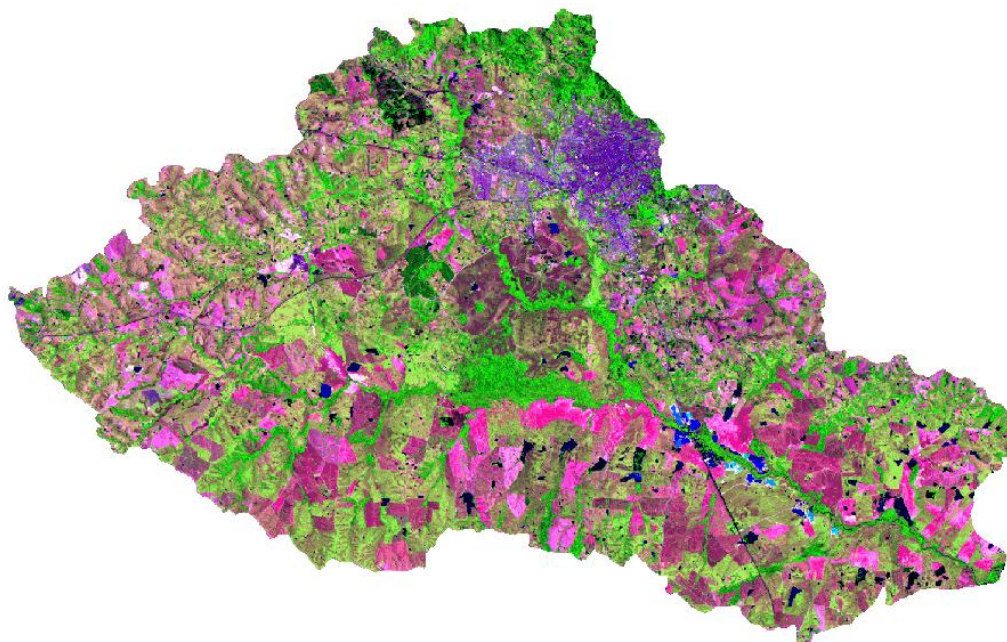


Figura 8 - Imagem da composição BGR 3, 4, 5 da sub-bacia do Arroio Arenal em novembro de 2010.

Da mesma forma, as imagens Landsat foram processadas digitalmente e assim medidas as classes definidas anteriormente, para posterior comparação do uso e ocupação do solo no período avaliado. Os resultados de tais medições estão demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantificação do uso e cobertura da terra em novembro de 2010.

CLASSES	2010 (Ha)
Floresta	7.800,55
Regeneração	2.364,17
Campo	30.612,41
Água	2.256,61
Agricultura Irrigada	20.175,44
Culturas	846,91
Solo Exposto	17.289,58
Área Urbana	3.662,81
TOTAL	85.008,48

Com estes resultados pode-se observar, na Tabela 5, o percentual de evolução dentro de cada classe analisada entre outubro de 1995 e novembro de 2010. Na Figura 9 é ilustrada a contribuição de cada uma das classes na área total da sub-bacia na última data analisada.

Tabela 5 - Evolução para cada classe de uso e cobertura do solo nos períodos de outubro de 1995 a novembro de 2010

CLASSES	1995 – 2010 Área (Ha)	(%)
Floresta	-2.112,106	-21,3

... continua

(conclusão)

CLASSES	1995 – 2010	
	Área (Ha)	(%)
Regeneração	-3.093,507	-56,7
Campo	-28.275,399	-48,0
Água	+1.139,474	+102,0
Agricultura Irrigada	+17.604,017	+684,6
Culturas	+244,411	+40,6
Solo Exposto	+13.792,075	+394,3
Área Urbana	+701,038	+23,7

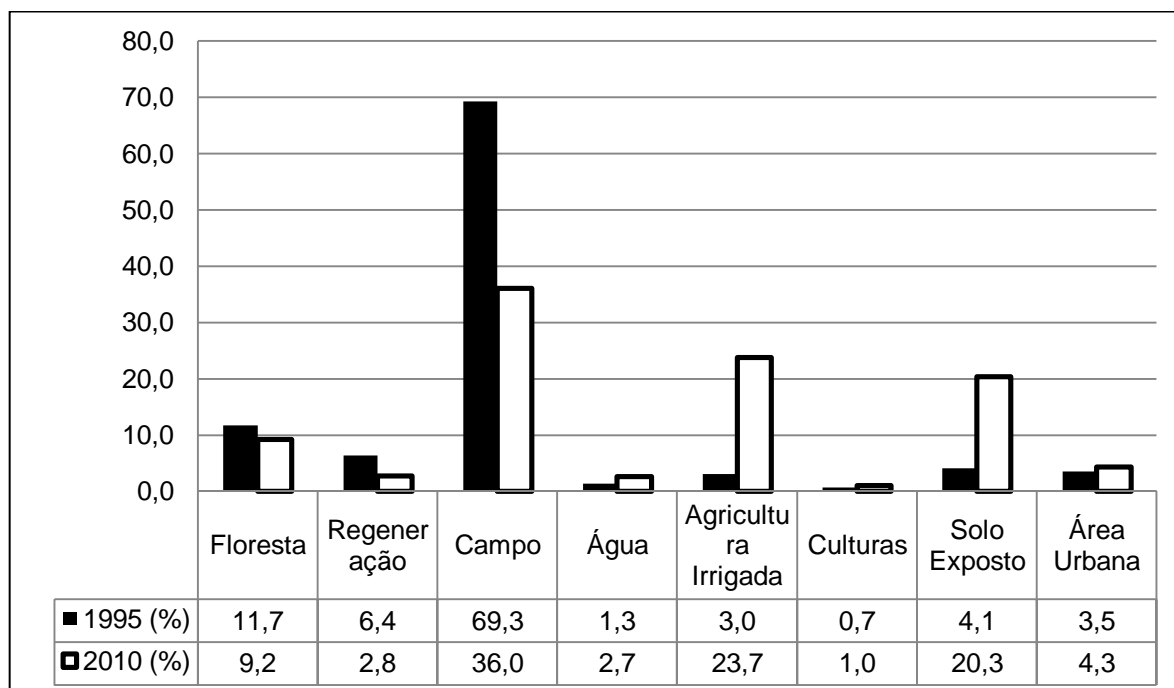


Figura 9 - Representação das classes de uso e cobertura do solo e sua contribuição na área total da sub-bacia do Arroio Arenal em outubro de 1995 e novembro de 2010.

Em novembro de 2010 a classe floresta foi mapeada em 7.800,55 ha. A redução observada durante o período de quinze anos, comparado aos 9.912,66Ha mapeados em outubro de 1995, compreendeu 2.112,106 ha, o que representa uma redução de 21,3% nesta classe.

Esta redução é verificada através dos respectivos mapas, não só nas áreas quantificadas, mas também na distribuição espacial. Nas formações aluviais, as florestas apresentaram menor densidade e extratos mais baixos, além de maior dinâmica devido a maior interação com atividades agrícolas.

Assim, a cobertura florestal da sub-bacia do Arroio Arenal não atingiu o percentual mínimo de 25% de sua extensão territorial recomendado pela FAO – Dr. Gerhard Speidel (ROCHA e KURTZ, 2001), não acompanhando ainda as estimativas de um aumento da cobertura florestal em nível estadual, como demonstrado em resultados do Inventário Florestal do Rio Grande do Sul (SEMA/UFSM, 2001).

A classe regeneração totalizou em novembro de 2010, 2.364,17 ha. Estas áreas sofreram uma redução de 3.093,507 ha (48%) em relação à primeira data avaliada, que fora de 5.457,68 ha.

Esta grande diminuição é explicada pela ocorrência de áreas de regeneração que evoluíram para o estágio de floresta e ainda pela prática de descapoeiramento para introdução de lavouras agrícolas. Sabe-se que as áreas em que é permitido o desenvolvimento destas vegetações pioneiras são mais restritas, sendo sua ocorrência muitas vezes devida ao abandono de áreas cultivadas e à sucessão vegetal de áreas de corte raso em florestas.

Os campos totalizaram 30.612,41 ha, observando-se uma diminuição de 28.275,399 ha em relação à data anterior em função do aumento de áreas ocupadas por atividades agrícolas neste período. Considerando-se culturas, agricultura irrigada e plantações florestais (pela pequena área encontrada) tecnicamente como atividades agrícolas. Entretanto, continuaram sendo a classe predominante na área da sub-bacia.

A classe constituinte das lâminas d'água, em novembro de 2010, passou a ocupar 2.256,61 ha. O aumento observado, de 1.139,474 ha, em relação aos 1.117,131 ha observados em outubro de 1995, pode ser explicado pela expansão da agricultura irrigada na região, devido à ampliação de açudes para irrigação.

A agricultura irrigada correspondeu a 20.175,44 ha da área total da sub-bacia, havendo um acréscimo de 17.604,017 ha durante o período de quinze anos analisado. Este aumento foi ocasionado pelas alterações na distribuição espacial desta cultura, oriundas de novas áreas que foram incorporadas para exploração.

A classe culturas totalizou 846,91 ha. O aumento, de 244,411 ha, no período analisado deve-se por áreas anteriormente ocupadas por campo de pastagem nativa, que passaram a ser utilizadas para monoculturas.

Em novembro de 2010, as áreas de solos expostos foram mapeadas em 17.289,58 ha. O acréscimo no período estudado foi de 13.792 ha, ocasionado também pela redução dos campos e pelo surgimento de extensas áreas sem vegetação.

A classe urbana corresponde à quase totalidade da zona urbana do município de Santa Maria e foi mensurada em 3.662,81 ha em novembro de 2010, sendo observado um acréscimo de 701,038 ha durante o período de quinze anos.

As classes de uso e cobertura da terra mapeadas na sub-bacia para novembro de 2010 estão ilustradas a seguir (Figura 10):

Na análise da exatidão das amostras usadas no mapeamento para novembro de 2010, o valor encontrado para o coeficiente Kappa foi de 0,8562. Assim como para 1995, a qualidade de classificação foi considerada excelente, mostrando-se suficiente para assegurar bons resultados quanto aos mapas temáticos gerados.

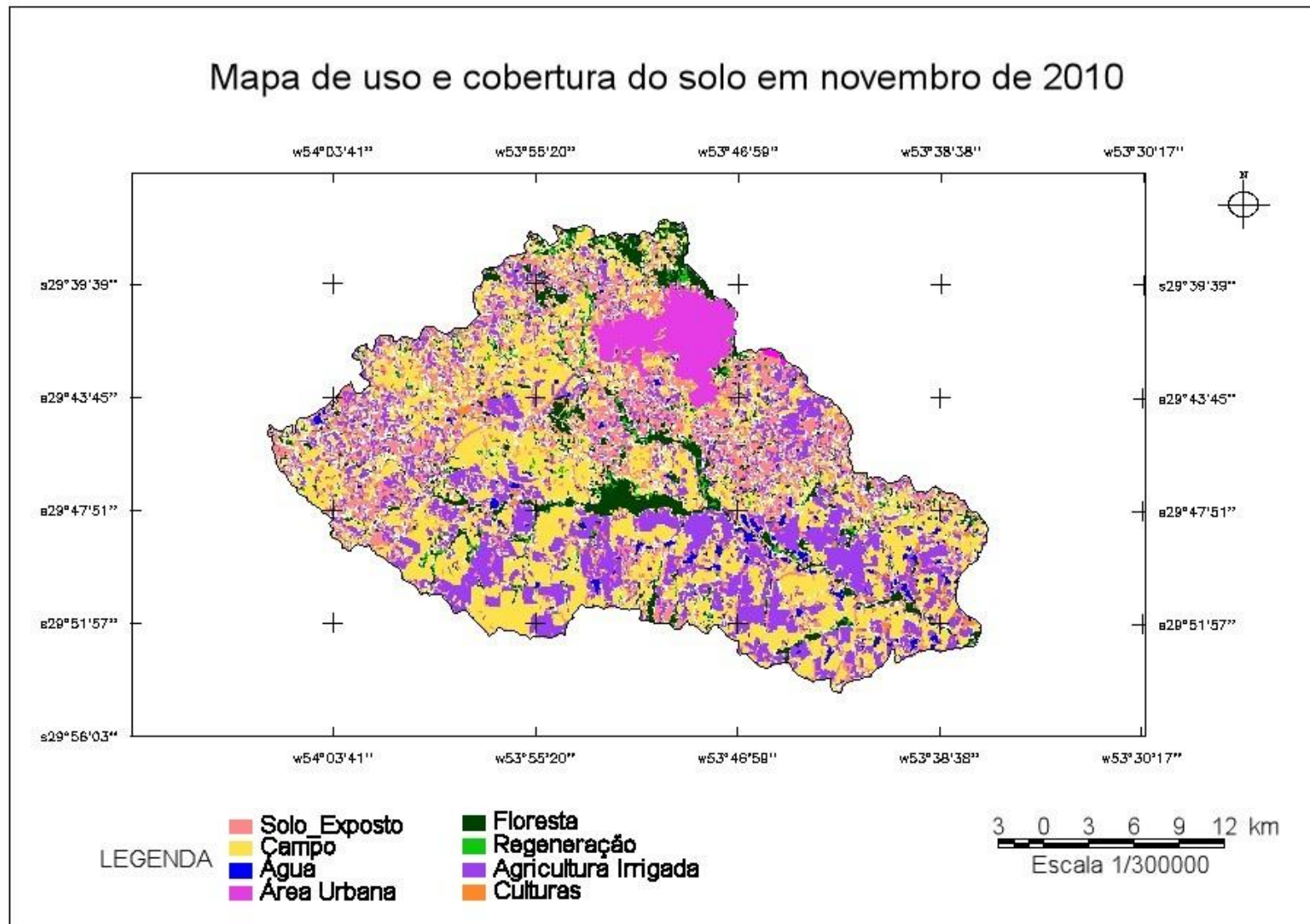


Figura 10 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do Arroio Arenal em novembro de 2010.

4.3 Evolução florestal

Os dados relativos à evolução florestal foram organizados sob análise do período entre outubro de 1995 e novembro de 2010, e são observados na Tabela 6, a qual demonstra as novas classes temáticas consideradas como de mudança da cobertura (desflorestamento/desmatamento, regeneração florestal e manutenção florestal).

Tabela 6 - Quantificação da evolução florestal entre outubro de 1995 e novembro de 2010.

Classes	Desflorestamento/ Desmatamento	Regeneração Florestal	Manutenção Florestal
Áreas (ha)	4.760,151	2.648,045	5.139,929

Observou-se que a evolução florestal está diretamente relacionada aos processos de ocupação das atividades agrícolas e à distância ao centro urbano, com maior densidade demográfica. A distribuição das classes da evolução florestal podem ser observadas no mapa da Figura 11.

Os desflorestamentos ou desmatamentos ocorreram em parte do Rebordo do Planalto e em diversos fragmentos florestais isolados na sub-bacia, sendo o valor calculado para esta classe de 4.760,151 ha, entre outubro de 1995 e novembro de 2010. A maior parte das áreas desmatadas, ou desflorestadas constitui espaços ocupados por atividades agrícolas, visto que ocorrem em áreas planas e com melhores aptidões para estas atividades.

Alguns desmatamentos foram verificados no entorno da área urbana, e ainda na porção central da sub-bacia, encontrando-se próximos de lavouras irrigadas evidenciando a exploração irracional. Observaram-se também vestígios da retirada de vegetação natural nas margens dos cursos d'água.

A regeneração florestal, ou reflorestamentos, totalizou 2.648,045 ha. Este aumento deu-se por toda a área da sub-bacia, principalmente na porção centro-

norte, e nas margens dos cursos d'água. Pode ter ocorrido pelo plantio de florestas exóticas, e também devido às altitudes mais elevadas e de vertentes mais íngremes dos afluentes, onde áreas menos propícias são abandonadas pelos agricultores, influenciados até mesmo pela imposição da legislação estadual ao corte de florestas nativas.

O acréscimo da cobertura florestal nas nascentes pode ser condicionado à áreas inaproveitáveis pela agricultura, principalmente em áreas afastadas de reservatórios de água nos quais não ocorre exploração de agricultura irrigada. Contudo, no extremo sul do Arroio Arenal, próximo ao deságüe no Rio Vacacaí, verifica-se uma importante evolução dos remanescentes florestais.

Quanto à manutenção florestal, foram consideradas as áreas que se mantiveram inalteradas durante o período de análise, as quais foram quantificadas em 5.139,929 ha. A permanência das florestas ocorrem principalmente no interior das matas de galeria, pois as maiores alterações encontram-se na faixa de bordadura das florestas e adjacentes à áreas agrícolas.

4.4 Evolução agrícola

Os resultados obtidos para evolução agrícola da sub-bacia do Arroio Arenal foram da mesma forma organizados considerando o período de quinze anos condizente com o estudo. Na Tabela 7, são observados os resultados para a quantificação das classes definidas para esta transição (redução, expansão e manutenção agrícola).

Tabela 7 - Quantificação da evolução agrícola entre outubro de 1995 e novembro de 2010.

Classes	Redução Agrícola	Expansão Agrícola	Manutenção Agrícola
Áreas (ha)	4.455,56	20.861,92	3.141,97

A redução agrícola apresentou uma área de 4.455,56 ha, resultando em sua maior parte de campos secundários, totalizando 4.236,02 ha. Estes campos são assim qualificados quando as gramíneas nativas ocuparam áreas de exploração agrícola (culturas, agricultura irrigada ou solo exposto). 161,28 ha desta redução constituíram de florestas secundárias jovens desenvolvidas a partir do abandono de áreas agrícolas, e ainda 58,27 ha passaram a ser ocupados por uma formação vegetal sucessora (capoeirão) ou regeneração.

Sobre a expansão agrícola, esta foi mapeada em 20.861,92 ha no período de quinze anos. Deste total, 754,32 ha foram de avanço sobre áreas florestais desmatadas, as quais possuíam melhores aptidões agrícolas; 608,97 ha foram de avanço sobre a regeneração; e o avanço da agricultura sobre áreas de campo nativo, considerado mais expressivo, de 19.498,63 ha, principalmente em planícies aluviais da sub-bacia. Os principais avanços da agricultura no período estudado ocorreram em áreas mais planas, contudo pode-se observar a existência de desmatamentos em algumas áreas de preservação permanente junto à rede de drenagem.

A manutenção agrícola ocorrida entre outubro de 1995 e novembro de 2010 foi quantificada em 3.141,97 ha. Esta classe caracteriza-se pela permanência de quaisquer das atividades agrícolas. Pode-se notar esta manutenção agrícola principalmente nas áreas de várzea do Arroio Arenal, onde estão localizadas áreas de agricultura irrigada.

A seguir, a Figura 12 ilustra a distribuição da evolução agrícola na sub-bacia em estudo.

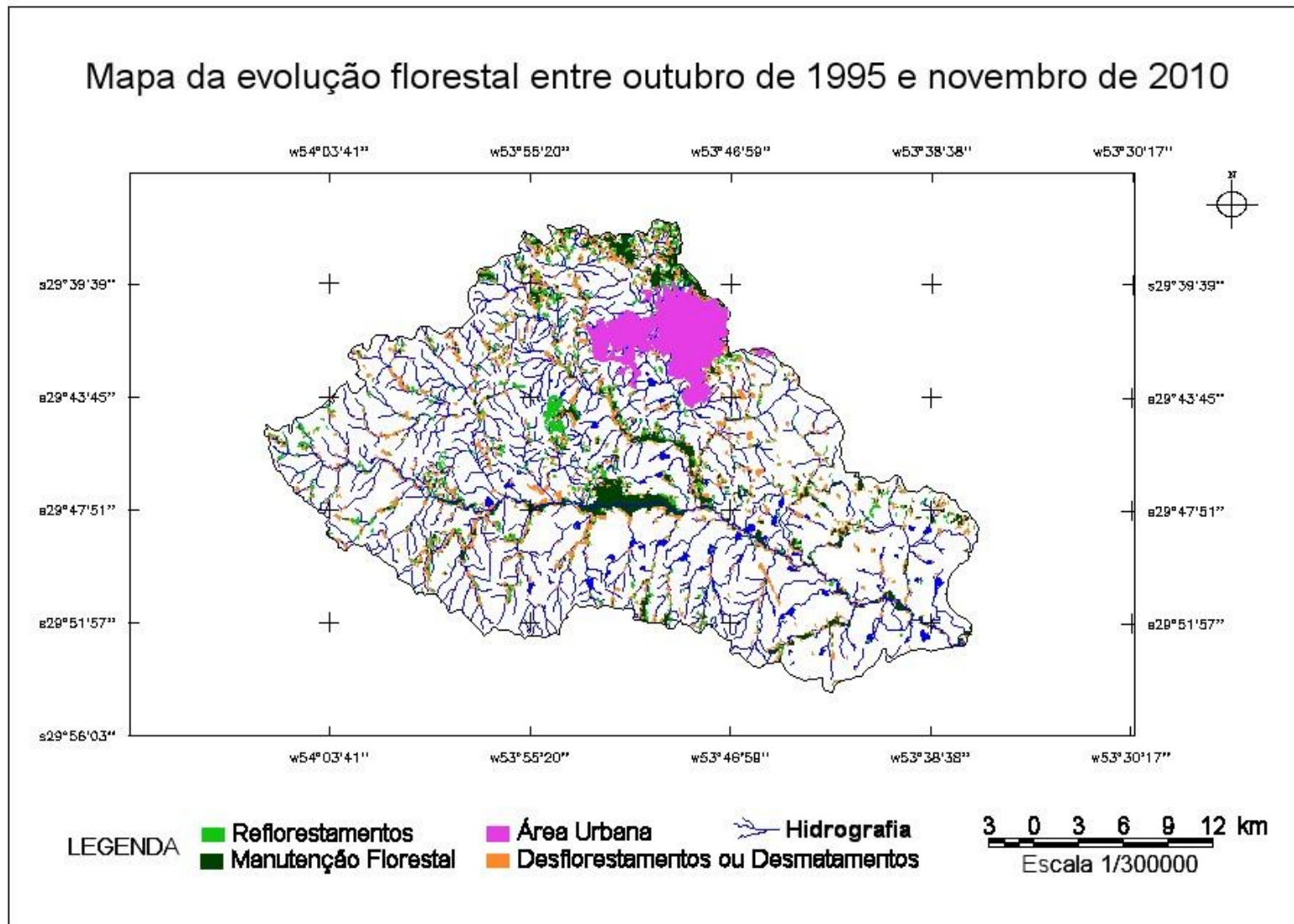


Figura 11 - Evolução florestal na sub-bacia do Arroio Arenal entre outubro de 1995 e novembro de 2010.

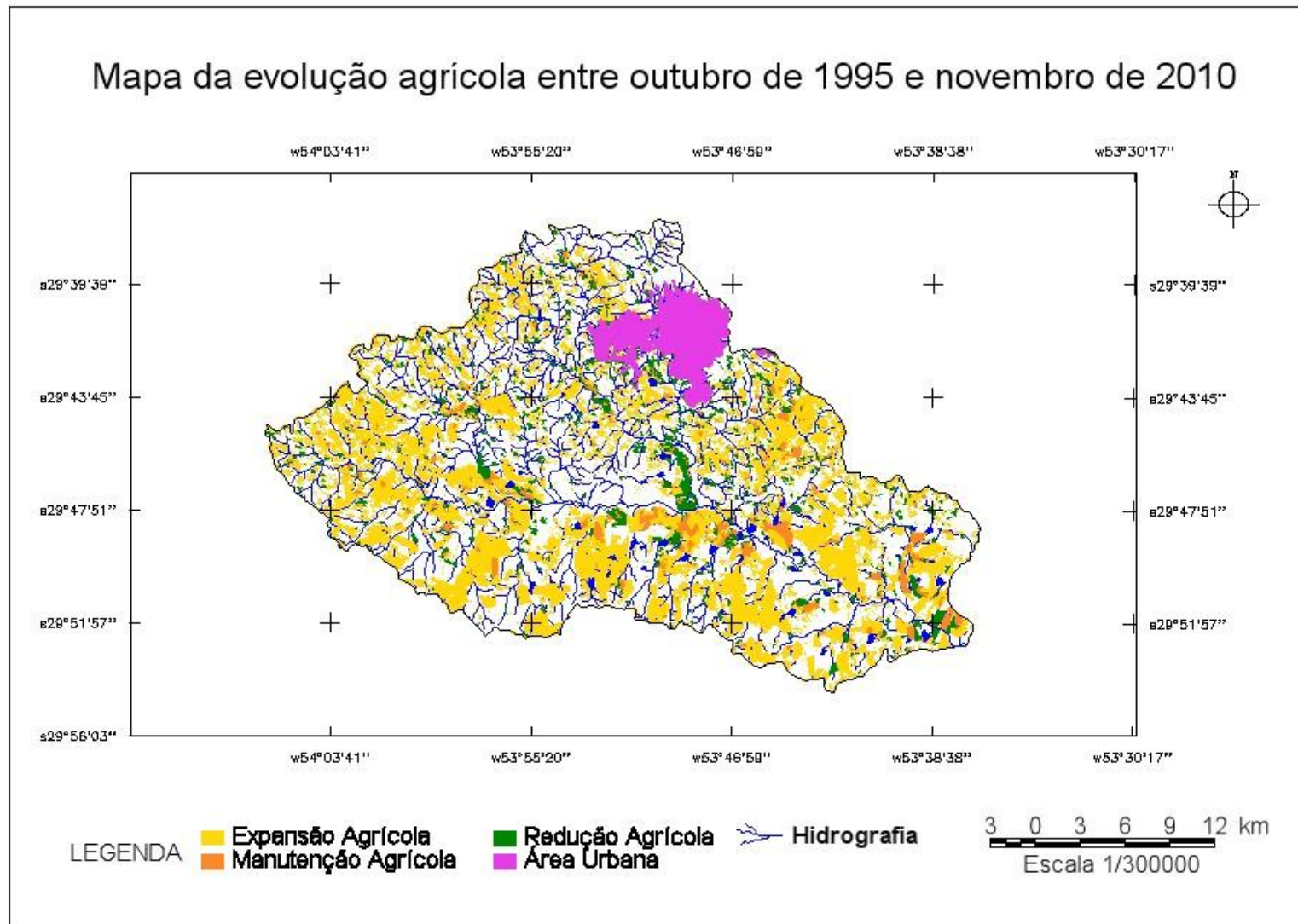


Figura 12 - Evolução agrícola na sub-bacia do Arroio Arenal entre outubro de 1995 e novembro de 2010.

4.5 Conflitos de uso da terra em novembro de 2010

As APPs foram discriminadas baseadas no Código Florestal - Lei Federal 4.771 de 15 de setembro de 1965, ainda vigente. A partir destas áreas, foram estabelecidos os potenciais conflitos de uso da terra, considerando as áreas de uso impróprio aquelas onde as atividades agrícolas, entre elas a agricultura irrigada, as culturas, o solo exposto e ainda os campos e/ou pastagens, estão estabelecidas em locais qualificados como preservação permanente. A Tabela 8 quantifica estas relações.

Tabela 8 - Áreas de Preservação Permanente x conflitos de uso da terra.

Áreas de PP	Área (ha) / Comprimento (km)	Áreas de conflito (ha)
Declividades >47%	97,204 ha	-
Topos de morro	254,761 ha	49,96
A. Arenal-faixa marg. 50m	115,169 km	62,86
Drenagem-faixa marg. 30m	2.301,127 km	589,42
Nascentes - raio 50m		

Áreas com declividade superior a 47% e áreas de topo de morros juntas perfazem um total de 351,965 ha, sendo que apenas nas áreas de topo de morros foram encontrados conflitos de uso da terra, totalizados em 49,96 ha. Desta área, 30,54 ha são constituídos de campos nativos, utilizados para criação extensiva de bovinos, e 6,91 ha para agricultura irrigada. 12,51 ha da classe área urbana também são encontrados em topo de morros.

Quanto à faixa marginal de 30 metros para a rede de drenagem, esta compreende 2.301,127 km de extensão. Nestes locais, foram mapeados 589,42 ha, sendo 145,39 ha de agricultura irrigada, 7,78 ha de culturas, 181,75 ha de solo exposto e ainda 254,49 ha de campo nativo.

Ao longo do Arroio Arenal, na faixa marginal de 50 metros, com 115,169 km de extensão, instituída como sendo Área de Preservação Permanente, foram mapeados 11,31 ha de agricultura irrigada, 0,53 ha de culturas, 23,68 ha de solo exposto e 27,33 ha de campo.

Na Figura 13, logo a seguir, são ilustradas as áreas de conflito de uso do solo.

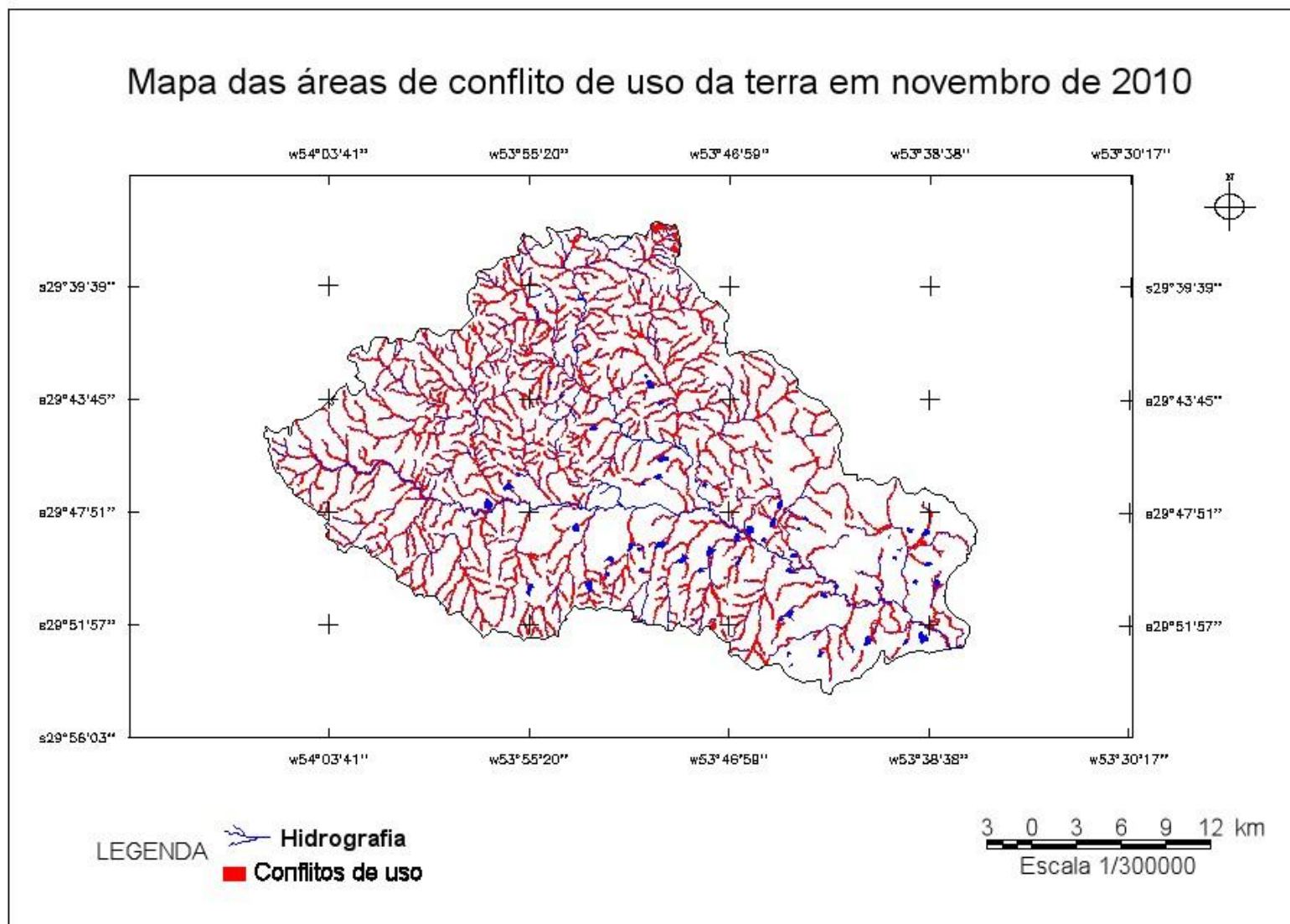


Figura 13 - Áreas de conflito de uso do solo na sub-bacia do Arroio Arenal em novembro de 2010.

5 CONCLUSÃO

O uso da análise de imagens multitemporais gerou resultados confiáveis quanto à identificação de padrões de uso e cobertura do solo e suas alterações.

No decorrer do período analisado o uso do solo predominante foi campos. Contudo, na cena da última data os mesmos se apresentam menos expressivos, devido principalmente ao avanço agrícola sobre estas áreas.

As florestas, que em outubro de 1995 constituíam a segunda maior contribuição em extensão territorial, em novembro de 2010 totalizaram apenas 9,2% da área total da sub-bacia.

Quanto à classe regeneração, ao fim do período observou-se uma redução de 56,7% nas áreas devido principalmente, pela prática de descapoeiramento, visando à exploração agrícola, entretanto, sugere-se uma melhor investigação nas causas desta redução, incluindo levantamentos mais detalhados realizados a campo.

A evolução florestal foi caracterizada em três diferentes classes. A manutenção florestal mostrou-se predominante na sub-bacia, representada principalmente pelas matas ciliares. Quanto à regeneração florestal, esta foi representou metade do total encontrado para áreas de desmatamentos no mesmo período.

A análise do processo evolutivo da agricultura mostrou um aumento expressivo nas áreas ocupadas por atividades agrícolas, devido à emergente agricultura de grãos, especialmente de soja e de arroz nos últimos quinze anos. Por outro lado, a redução agrícola proporcionou, em grande parte o surgimento de campos secundários (4.236,02 ha), e ainda de áreas de regeneração (58,27 ha) e também a regeneração florestal (161,28 ha de florestas secundárias).

A localização de Áreas de Preservação Permanente da sub-bacia possibilitou a quantificação e a espacialização das atividades exploratórias em locais inadequados, os quais totalizaram 702,24 ha.

Verificou-se que fatores humanos como densidade demográfica e aumento populacional, distância ao centro urbano, processo de colonização baseado na monocultura, aumento da rentabilidade em culturas de grãos, progresso técnico nos

tratos culturais e o abandono de áreas impróprias pela atuação de órgãos competentes foram determinantes para a dinâmica espacial desta sub-bacia.

Os resultados obtidos, armazenados em um banco de dados geográficos, poderão ser usados na geração de modelos de simulação espacial, devido às suas múltiplas representações e apresentações geográficas, possibilitando a simulação de acontecimentos e a indicação de alternativas que conduzam à manutenção da capacidade produtiva deste ambiente.

As informações contidas no banco de dados podem ser atualizadas periodicamente, ou ainda poderão ser originados novos planos de informação a partir de seu cruzamento ou mesmo de sua complementação, permitindo a continuidade ou a realização de novas pesquisas, e o aperfeiçoamento da análise do espaço geográfico da sub-bacia do Arroio Arenal.

Recomenda-se utilizar a metodologia proposta em estudos de monitoramento ambiental, dinâmica de uso e cobertura do solo, análise espacial e temporal e demais trabalhos relacionados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas – Aplicações na agricultura**. Brasília, EMBRAPA. 1998.

BACA, J. F. M. **Dinâmica da Paisagem**: métodos analíticos, modelos de classificação e simulação prognostica, sob a ótica geoecológica. 2002. 184f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

BENEDETTI, A. C. P. **Análise espacial da evolução e cobertura da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal, Santa Maria/RS**. 2006. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BERTOLDO, L. S.; LIMA, G. T. N. P.; SANTOS, R. F. Proposta metodológica para medidas de direção e intensidade de mudanças na paisagem. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2., 2002, Corumbá. **Anais...** Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2002. p. 383-391.

BOLFE, E. L. **Geoprocessamento aplicado à Análise de Recursos Florestais Estudo de Caso: FOLHA SH. 22-Y-A / DSG**. 2001. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of Land Use Change**: Theoretical and Modeling Approaches. In: Regional Research Institute. West Virginia University, 1999. Disponível em: <<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>. Acesso em 15 abr. 2011.

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

CÂMARA, J. B. D. **Análise da Área de Proteção Ambiental do Rio São Bartolomeu como instrumento de planejamento e gestão ambiental**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 1993.

CROSTRA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. 4 ed. rev. Campinas: Instituto de Geografia – UNICAMP, 2002. p164.

FERNANDES, G. S.; GOMES, V. S. **Uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas (SIG) para detecção do crescimento de áreas urbanas**. 2005. (Trabalho de Graduação – Tecnologia em Sensoriamento Remoto) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, Goiânia, 2005.

FERRARI, R. **Modelagem Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia, RS**. 2008. 130f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília - DF, 2005.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos. 2002. 102p.

FONSECA, L. M. G. **Processamento Digital de Imagens**. In: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 20 mar. 2011.

GIOVANI, A.; TAMAYO, A. Análise Espacial, Conceito, Método e Aplicabilidade. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, v.16, n. 2, p.303-307, 2003.

HENDGES, E. R. **Modelos estocásticos da dinâmica da paisagem florestal e simulação de cenários para o Estado do Rio Grande do Sul no período de 1988 a 2020**. 2007. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 abr. 2011.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 9 abr. 2011.

_____. Manual do Usuário SPRING. São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/indice.htm>>. Acesso em: 9 abr 2011.

MENEZES, C. R. C. **Análise da Dinâmica Ocupacional do P.A. Lago Preto, a Partir da Utilização de Ferramentas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas**. Palmas, Brasil, 2001.

MORAES, A. R.; BERNARDES, R. S. Alterações no uso do solo da Área de Proteção Ambiental das Ilhas e Várzeas do rio Paraná (MS/PR/SP) durante a década de 2000. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Curitiba, 2011. **Anais...** INPE, 2011. Artigos, p.6121. CD-ROM.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2007. 241p.

MORENO, J. A. Uso da terra, vegetação original e atual do Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, v.17, n. 15, p. 45-51,1972.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 308p.

OSÓRIO, Q. da S. **Vulnerabilidade natural dos aquíferos e potencial de poluição das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Arroio Arenal, Santa Maria/RS**. Santa Maria: UFSM, 2002. 58f. (Trabalho de Graduação A.)

PEREIRA, G. C.; SILVA, B. C. N. Geoprocessamento e Urbanismo. In: Gerardi, L. H. de O. e Mendes, I. A. M. (orgs). **Teoria, técnica, espaços e atividades: temas de Geografia contemporânea**. Rio Claro: PPGG – UNESP. AGETEO, 2006. 432p.

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

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. de J. M. **Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. 4. ed. Santa Maria: Ed. UFSM, 2001. 282 p.

RUFINO, I. A. R.; DAYA, I. **Noções de Sistemas de Informação Geográfica** (apostila). ATECEL/UNESCO, João Pessoa, 2004.

SABINS, F.F. **Remote Sensing: principles and interpretation**. 3. rd. New York: W. F. Freeman and Company, 1999. 494p.

SEMA/UFSM. Secretaria Estadual do Meio Ambiente do RS/Universidade Federal de Santa Maria. Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul. Santa Maria: 2001.706p. Disponível em <<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/frame.htm>>. Acesso em 22 mar. 2011.

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

SILVA, D. A. da. **Sistemas Sensores Orbitais**. São José dos Campos: INPE – CTA, 1995. 69 p.

SOARES-FILHO, B. S. Análise das mudanças de cobertura do solo no Norte do Mato Grosso, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Goiânia: Centro de Convenções, 2005. Disponível em: <<http://www.itid.inpe.br/sbsr2005>>. Acesso em 22 mar. 2011.

SOUSA, J. J.; MAGALHÃES, M. P. **Aplicação da técnica de modelo linear de mistura espectral para estimativa de biomassa na área do parque estadual Altamiro de Moura Pacheco – PEAMP**. 2006. (Trabalho de Graduação - Tecnologia em Sensoriamento Remoto) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, Goiânia, 2005.

STEINKE, V. A. **Identificação de áreas úmidas prioritárias para a conservação da biodiversidade na bacia da Lagoa Mirim (Brasil-Uruguai): Subsídios para a gestão transfronteiriça**. 2007. 138p. (ECO/IB UnB – 17). Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biologia. Departamento de Ecologia. Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 107p.

TELES, M. M. F. **Análise Espacial em Sistemas de Informação Geográfica**. Relatório Final de Iniciação científica – PIBIC/CNPq-UFPB, 2001.

TRENTIN, C. B.; FILHO, W. P.; TRENTIN, A. B. **Dinâmica do uso e cobertura da terra na área de captação do reservatório Passo Real/RS**. UFSM. 2007. Disponível em: <<http://www.geo.ufv.br/simposio/>>. Acesso em 22 mar. 2011.

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