



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**Análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo da bacia  
do rio dos Sinos/RS**

**EDNARDO CORREIA LIMA**

**Porto Alegre, RS  
2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**Análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo da bacia  
do rio dos Sinos/RS**

**EDNARDO CORREIA LIMA**

**ORIENTADOR**

Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer  
Prof. Dra. Dejanira Luderitz Saldanha

Trabalho de conclusão do curso de Geografia apresentado na forma de monografia, junto à disciplina de Trabalho de Graduação II, como requisito parcial para obtenção de grau de Geógrafo.

Porto Alegre, Julho de 2011

## Agradecimentos

Em primeiro lugar devo agradecer à Universidade Federal do Rio Grande do Sul por toda a base de conhecimento, estrutura, e principalmente pelo caráter das pessoas que foi possível conviver e aprender.

Ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, por ser um espaço de vivência e aprendizagem técnica excepcional.

À minha família querida que sempre me apoiou a continuar os estudos, em especial minha mãe Suzana Maria Garcia e minha irmã Solmar Correia Lima, pelo carinho e dedicação.

À minha esposa Carolina Baumann e meu enteado Pedro Baumann, pelo apoio e amor incondicional dispensado a mim, na jornada que tracei e continuo a trilhar, com grande amor, é para vocês que trabalho.

Ao meu orientador Laurindo Guasselli, pela atenção, apoio, dedicação, integridade, saber, que tanto me fez crescer como pesquisador ao longo dos últimos doze meses, deixo aqui minha admiração pelo profissional inspirador, indispensável para o término de minha formação como bacharel em Geografia.

Agradeço também pela oportunidade de ter passado esse momento especial da minha vida, junto ao amigo Guilherme Oliveira, que tanto me apoiou e incentivou junto às demandas que a pesquisa me exigiu.

Aos professores, Roberto Verdum, Aldomar Arnaldo Rückert e Nestor André Kaercher, pela simplicidade e saber, pela ética profissional que transmitiram em suas aulas, que sem sombra de dúvidas inspiraram as minhas.

A todos os colegas pela amizade e convivência em todos esses anos de graduação, o meu grande abraço e obrigado.

## Resumo

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos, localizada a nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, abriga aproximadamente 1.346.151 habitantes, em uma área de 3.670,24 km<sup>2</sup>, correspondendo a 1,5% da área do Estado. São 32 municípios incluídos total e parcialmente na área da bacia, muitos dos quais, caracterizados por alta densidade populacional, intensa atividade industrial e agrícola, especialmente na Região Metropolitana de Porto Alegre. Essa bacia vem sofrendo nas últimas décadas, intensa degradação ambiental, devido ao crescimento desordenado das cidades, atividades industriais potencialmente poluidoras e atividades agrícolas sobre áreas de proteção ambiental. Fatos esses que são agravados pela escassez de investimentos públicos no tratamento dos resíduos domésticos e industriais lançados nos rios da bacia e a falta de fiscalização das atividades econômicas potencialmente poluidoras. Dessa forma, torna-se fundamental analisar os diversos usos e ocupação do solo ao longo das últimas décadas, principalmente no que tange à cobertura vegetal e à mancha urbana da área da bacia, para que se possa compreender a dinâmica e os padrões de alterações espaciais. Para tanto, pretende-se com este estudo, efetuar mapeamento do uso e ocupação do solo da bacia e analisar as alterações espaço-temporal, a partir de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Dessa forma, procedeu-se com: a) obtenção de imagens orbitais multiespectrais do sensor do TM (Thematic Mapper), satélite LandSat 5 relativo aos períodos de 10/04/1993 a 28/09/2009; b) processamento digital nos softwares ArcGis 9.3 e Envi 4.3; c) formação de mosaicos com as imagens; d) georreferenciamento; e) classificação digital supervisionada, a partir da aquisição das amostras nas próprias imagens e; f) coleta de dados em campo para a verificação das classificações digitais, tais como: coordenadas de pontos e suas respectivas informações. Os resultados encontrados revelam que a maior parte da bacia ainda está coberta por vegetação e a agropecuária representa o maior uso e ocupação do solo. No período de 1993 a 2009, ocorreu expansão da mancha urbana em aproximadamente 2% da área total. O mapeamento no período de estudo revelou retração das atividades agrícolas nos cursos alto e médio da bacia e supressão da vegetação no curso baixo, em especial nas planícies de inundação. O uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento em mapeamento de uso e ocupação do solo se mostraram muito eficazes, seja pela precisão ou pelos resultados obtidos no sistema de informações geográficas.

**Palavras-chave:** uso e ocupação do solo, análise espaço temporal, imagens LandSat 5 TM, bacia do rio dos Sinos

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Introdução.....</b>   | <b>10</b> |
| 1.1. Objetivos.....   | 12        |
| 1.1.1. Objetivos Específicos .....  | 12        |
| 1.2. Justificativa.....   | 13        |
| <b>2. Fundamentação Teórica.....</b>  | <b>14</b> |
| 2.1 Bacias hidrográficas.....   | 14        |
| 2.1.1 Áreas de várzea.....  | 16        |
| 2.1.2 Bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS, aspectos socioeconômicos e ambientais.....        | 17        |
| 2.2 Sensoriamento remoto.....   | 20        |
| 2.2.1 Geoprocessamento.....   | 20        |
| 2.2.2 Sistema de Informações Geográficas.....   | 21        |
| 2.2.3 Imagens Orbitais.....   | 21        |
| 2.2.3.1 Resolução das Imagens de Sensoriamento Remoto.....                                      | 23        |
| 2.2.4 Processamento Digital de Imagens – PDI.....   | 24        |
| 2.2.4.1 Realce de Imagens.....  | 25        |
| 2.2.4.1.1 Filtragem de frequências espaciais.....   | 26        |
| 2.2.4.2 Composição Colorida.....  | 27        |
| 2.2.4.3 Classificação digital.....  | 28        |
| 2.3 Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicado aos estudos de uso e ocupação do solo..... | 31        |
| 2.3.1 Estudos espaço temporais de uso e ocupação do solo.....                                   | 33        |
| <b>3. Materiais e Métodos .....</b>   | <b>34</b> |
| 3.1 Área de Estudo .....  | 35        |
| 3.2 Materiais.....  | 37        |
| 3.3 Processamento Digital de Imagens - PDI.....   | 38        |
| 3.3.1 Seleção de Imagens orbitais.....  | 38        |
| 3.3.2 Composição de colorida e realce.....  | 38        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.3.3 Composição de mosaicos.....   | 40        |
| 3.3.4 Classificação digital.....  | 42        |
| 3.3.5 Coleta de dados em campo.....   | 43        |
| 3.4 Mapeamento do uso e ocupação do solo.....   | 44        |
| 3.4.1 Análise da exatidão do mapeamento.....  | 44        |
| 3.5 Análise espaço-temporal.....  | 45        |
| 3.6 Mapeamento do uso e ocupação do solo na área de várzea da bacia do Rio dos Sinos/RS.....                          | 46        |
| <b>4. Resultados e discussões .....</b>   | <b>47</b> |
| 4.1 Mapeamento do uso e ocupação do solo.....   | 47        |
| 4.1.1 Análise da exatidão do mapeamento.....  | 52        |
| 4.2 Análise das variações de uso e ocupação do solo na área da bacia para o período de 08/09/1993 a 13/04/2009.....   | 57        |
| 4.2.1 Mapeamento da expansão da mancha urbana entre o período de 08/09/1993 a 13/04/2009.....                         | 60        |
| 4.2.2 Mapeamento das alterações da cobertura vegetal no período de 08/09/1993 a 13/04/2009.....                       | 63        |
| 4.3 Mapeamento do uso e ocupação do solo nas áreas de várzea da bacia do rio dos Sinos/RS, na data de 13/04/2009..... | 66        |
| <b>5. Conclusões .....</b>  | <b>70</b> |
| <b>6. Referências .....</b>   | <b>73</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Corte transversal de um rio.....  | 14 |
| Figura 2 – Bacias Hidrográficas do RS.....   | 17 |
| Figura 3 - Campo instantâneo de visada (IFOV) de um sensor.....  | 23 |
| Figura 4 - Janela da máscara.....  | 27 |
| Figura 5 – Mapa da área da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos no Estado do Rio Grande do Sul.....   | 35 |
| Figura 6 – Mosaico de imagens orbitais Landsat 5 TM, na composição colorida (R4G5B3).....  | 39 |
| Figura 7 – Histograma da composição colorida (R3G4B5), de imagem Landsat 5, órbita 220, ponto 81, de parte da área de drenagem da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, obtida em 10/04/1993, com ampliação do contraste..... | 40 |
| Figura 8 – Visão parcial de mosaico com deformação na junção das imagens orbitais, efetuado sem linha de corte (Cultline.ann).....   | 41 |
| Figura 9 – Visão parcial de mosaico sem deformação na junção das imagens orbitais, efetuado com linha de corte (Cultline.ann).....   | 41 |
| Figura 10 – Pequena área de florestamento em encosta de cobertura vegetal nativa, município de Riozinho/RS. Foto obtida em 16/04/2011.....   | 49 |
| Figura 11 – Encosta sombreada com cobertura vegetal nativa, município de São Francisco de Paula. Foto obtida em 16/04/2011.....  | 50 |
| Figura 12 - Área de campo as margens de uma avenida, município de Rolante, coordenadas 540028 O e 6718689 S. Foto obtida em 16/04/2011.....  | 57 |
| Figura 13 – Variação do uso e ocupação do solo da bacia dos Sinos, 1993/2009.....  | 58 |
| Figura 14 – Casa destruída por deslizamento de terra, município de Três Coroas/RS. Foto obtida em 17/04/2011.....  | 62 |
| Figura 15 – Maciço de florestamento, município de São Francisco de Paula. Foto obtida 17/04/2011.....  | 64 |
| Figura 16 – Áreas de grande supressão da vegetação no curso baixo, bacia do rio dos Sinos, período de 1993-2009.....   | 65 |
| Figura 17 – Mata ciliar e vegetação fragmentada, várzea da bacia dos Sinos, 2009.....  | 68 |

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Quantificação das classes de uso e ocupação do solo, bacia dos Sinos-2009.....            | 47 |
| Tabela 2 – Quantificação das classes de uso e ocupação do solo, bacia dos Sinos-1993.....            | 51 |
| Tabela 3 – Análise da exatidão do mapeamento do uso e ocupação do solo da bacia dos Sinos, 2009..... | 53 |
| Tabela 4 – Variação do uso e ocupação do solo da bacia dos Sinos, 1993/2009.....                     | 58 |
| Tabela 5 – Variação da mancha urbana, bacia do rio dos Sinos, 1993/2009.....                         | 61 |
| Tabela 6 – Quantificação do uso e ocupação do solo, várzea da bacia dos Sinos.....                   | 67 |

## LISTA DE MAPAS

|  |    |
|--|----|
| Mapa 1 – Rede de drenagem e altimetria da bacia do rio dos Sinos.....                      | 16 |
| Mapa 2 – Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do rio dos Sinos, 2009.....               | 48 |
| Mapa 3 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do rio dos Sinos, 1993.....               | 52 |
| Mapa 4 - Mapa de expansão da mancha urbana da Bacia do rio dos Sinos, 1993-<br>2009.....   | 61 |
| Mapa 5 – Expansão e supressão da vegetação, bacia dos Sinos, período de 1993-<br>2009..... | 63 |
| Mapa 6 – Vegetação preservada, bacia dos Sinos, no período de 1993-2009.....               | 66 |
| Mapa 7 – Uso e ocupação do solo, várzea da bacia dos Sinos - 2009.....                     | 67 |

## 1. Introdução

Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, o processo de industrialização iniciado nos anos de 1950 gerou profundas transformações na organização social e econômica. Transformações essas, marcadas negativamente pelo crescimento desordenado das cidades, expansão das atividades agrícolas em áreas de proteção ambiental e o descompasso entre o crescimento econômico e populacional e os investimentos públicos em infraestrutura. O crescimento desordenado das cidades brasileiras, nos últimos cinquenta anos, é resultado do processo de êxodo rural acelerado, desencadeado pelas péssimas condições de trabalho e renda no campo e a concentração de terras (VEYRET, 2007).

O reflexo da falta de planejamento territorial pode apresentar de vários modos, como, por exemplo, através da ocupação de áreas potencialmente importantes para empreendimentos turísticos, agropecuários ou áreas com sérios riscos ambientais (enchentes, deslizamentos, etc.), usadas como moradias. Nas áreas rurais a falta de planejamento territorial associado ao crescimento do agronegócio, gerou grande retração florestal dos principais biomas brasileiros, assim como, o desmatamento da mata ciliar, degradação dos recursos hídricos e o declínio de espécies da fauna e flora brasileira.

Esse atraso quanto à abordagem do planejamento territorial é decorrente da falta de conhecimentos científicos-tecnológicos por parte do poder público nas diferentes esferas do poder. Ocorrendo assim ineficiência no que diz respeito à formulação de um planejamento adequado. Vemos com frequência loteamentos proliferando-se em áreas de preservação ambiental, crescimento de favelas em áreas de risco ambiental, criação de aterros em áreas de banhados, etc. Fatos que apontam para a necessidade de efetuar estudos referentes aos diversos tipos de uso do espaço geográfico brasileiro, como forma de auxiliar a gestão pública territorial.

As tecnologias de coleta e manuseio de informações espaciais, podem ser a resposta à falta de conhecimento sobre as dinâmicas do uso do solo, pois subsidiam o processo de tomada de decisões com informações sobre o território. O uso de técnicas de sensoriamento remoto, GPS (Global Positioning System) e geoprocessamento, permite a criação de um Sistema de Informações Geográficas, em ambientes de respostas e perguntas que envolvem o fator localização como variável primordial (SILVA, 2001).

Todos essas fatos também são observados no Estado do Rio Grande do Sul e em especial na área da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, a bacia mais degradada do Estado (Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2011). O elevado grau de degradação da bacia está associado ao intenso crescimento populacional e econômico nos últimos 30 anos, a falta de fiscalização das atividades potencialmente poluidoras, inexistência de tratamento dos resíduos domésticos e industriais e a expansão das atividades agrícolas em áreas de preservação permanente, como a mata ciliar dos rios.

Dessa forma, o mapeamento de uso e ocupação e análise das alterações espaço-temporal entre o período de 1993 a 2009, com o uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, utilizando imagens orbitais da série histórica Landsat 5 do Sensor TM (Thematic Mapper), permitirá compreender e quantificar as alterações sofridas nas últimas décadas na área da bacia.

Mapeamentos de uso e ocupação e alterações espaço-temporal compilados com a rede hidrográfica, mapa de altitude e os limites da bacia e área de várzea<sup>1</sup>, formam um sistema de informações geográficas capaz de subsidiar estudos complementares, sejam na área ambiental ou de gestão territorial. Um SIG (Sistema de Informações Geográficas), da área de uma bacia, permite espacializar alterações em diversas classes de uso e ocupação do solo e dessa forma, compreender melhor os padrões de uso agrícola, supressão de vegetação nativa, expansão de áreas de florestamento, dentro outros. Sendo assim, uma grande ferramenta de análise espacial, gestão e base para outros estudos socioeconômicos na região;

---

<sup>1</sup> Trata-se de uma planície de inundação ou leito maior do rio.

## **1.1 Objetivos**

Efetuar análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo na bacia do rio dos Sinos, com o uso de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Mapear o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, com o uso de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto;
- Analisar a variação espaço-temporal de alterações do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, nos anos de 1993 a 2009;
- Gerar mapas das áreas de expansão urbana e alterações da cobertura vegetal no período de amostragem na área da bacia hidrográfica do rio dos Sinos;
- Análise do uso e ocupação do solo das áreas de várzea da bacia, no período de 28/09/2009.

### 1.3 Justificativa

O presente estudo se justifica pela necessidade de conhecer as transformações espaço-temporais ocorridas na bacia do rio dos Sinos. Área de intensa ocupação e transformação, fato muitas vezes, gerador de impactos ambientais e desastres naturais, pela falta de planejamento e gestão do uso e ocupação do solo. Esses impactos estão associados à ocupação de áreas irregulares e de proteção ambiental; desmatamento da mata ciliar e encostas de morros; despejo de resíduos domésticos e industriais nos rios; dentre outros. A grande ocupação da bacia, associada à degradação ambiental, representa riscos ambientais à comunidade, em função da possibilidade de ocorrência de enchentes, deslizamentos de massa e contaminação dos rios e solo, ocasionando muitas vezes perdas de vidas e danos materiais às comunidades.

Para analisar as alterações espaciais ocorridas nas últimas décadas, faz-se necessário o mapeamento do uso e ocupação do solo, a fim de espacializar e quantificar os diversos tipos de uso e ocupação.

Para tanto, utilizou-se técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento com imagens orbitais da série histórica Landsat 5, sensor TM, para a classificação digital e vetorização das diversas classes de uso e ocupação do solo na área de estudo. O uso dessas técnicas se justifica pela precisão dos mapeamentos resultantes, formação de banco de dados atualizados sobre a região, além de gerar um Sistema de Informações Geográficas - SIG, a partir do georreferenciamento dos produtos, processamento digital das imagens e espacialização integrada das diversas alterações na bacia.

De forma complementar à análise espaço-temporal, pretende-se analisar a espacialização e quantificação da expansão das áreas urbanizadas e as alterações das áreas de vegetação no período de 1993 a 2009 em mapas específicos, uma vez que as mesmas estão associadas a impactos ambientais observados em toda a área da bacia.

As áreas de várzea da bacia do rio dos Sinos, apresentam intensa ocupação para a habitação e atividades agrícolas, somado a esse fato são áreas de risco de enchentes, por serem terrenos planos e de baixa declividade, fato apontado em diversos estudos. Dessa forma, a análise do uso e ocupação do solo dessas áreas específicas da bacia, faz-se necessário e útil, pois poderão servir de subsídio para a prevenção de grandes danos materiais e perdas de vidas na ocasião de enchentes, o maior risco ambiental brasileiro na atualidade (VEYRET, 2007).

## 2. Fundamentação teórica

### 2.1 Bacias hidrográficas

BARBOSA (2009), TUCCI *et al.* (2007), se referem a uma bacia hidrográfica, como uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água tal que toda vazão efluente é descarregada através de uma simples saída, o exutório. Uma bacia hidrográfica é necessariamente contornada por um divisor de águas, assim chamado por ser a linha de separação que divide as precipitações que caem em bacias vizinhas e que encaminha o escoamento superficial resultante para um outro sistema fluvial. O divisor segue uma linha rígida unindo os pontos de cota máxima entre bacias, o que não impede que no interior de uma bacia possam existir picos isolados com cota superior a qualquer ponto do divisor.

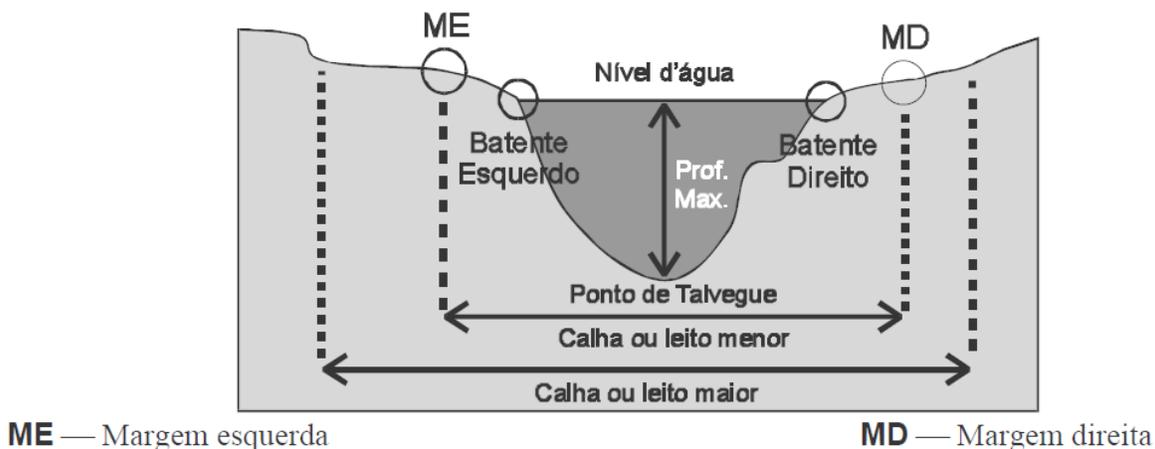


Figura 1: Corte transversal de um rio.

Fonte: BARBOSA, (2009).

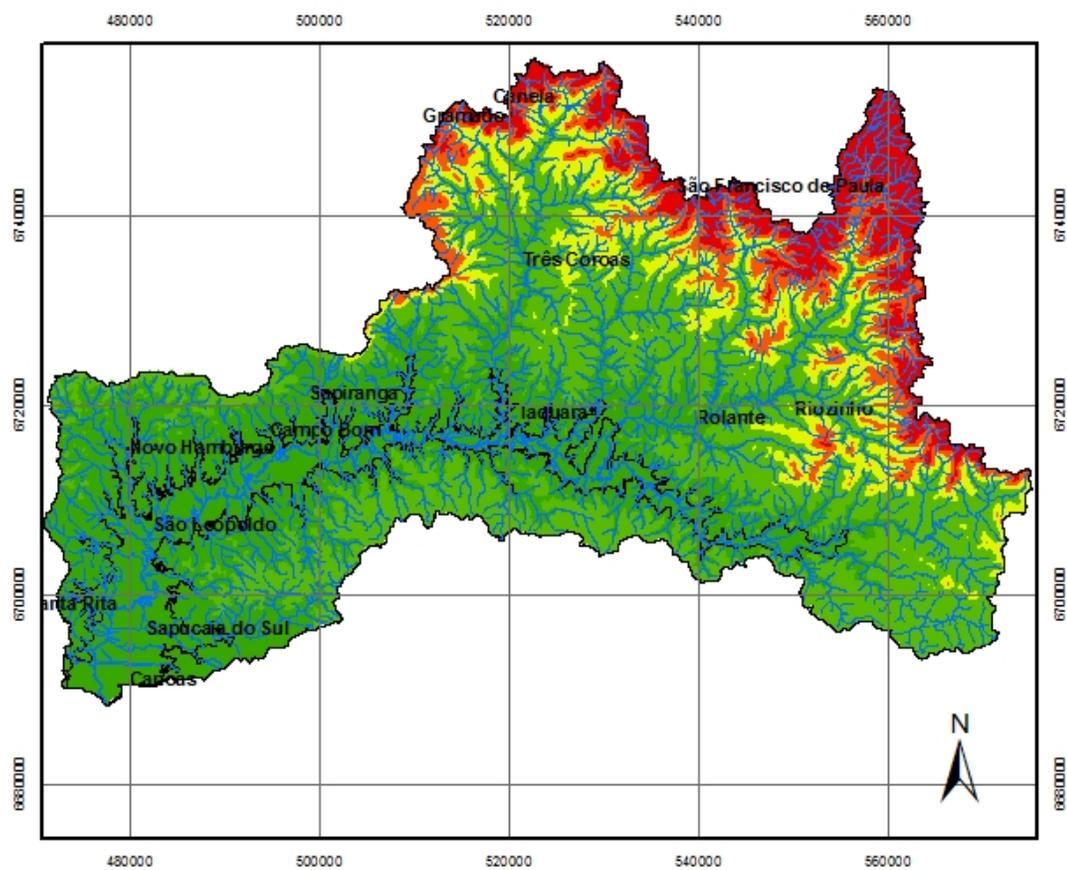
Na figura 1 observa-se o leito menor, definido pela escavação produzida pela corrente líquida, dentro de cujos limites ela escoava quando não há transbordamento e o **leito maior**, região marginal que contém o transbordamento das cheias até as elevações longitudinais naturais mais próximas. **É a planície de inundação, ou várzea do rio.**

STRAHLER & STRAHLER (1989), definem os sistemas de drenagem como um conjunto entre os fluxos superficiais, intermediário e das águas de saturação, que tributam

com o tempo em uma corrente ou curso fluvial, que não é mais do que uma forma de canais que concentram uma maior quantidade de água.

O conjunto dos cursos de água que circulam vertente abaixo desde o ponto que começaram a fluir sobre a superfície terrestre é conhecido como sistema de drenagem. Este se compõe de uma rede ramificada de canais fluviais que recolhem águas superficiais e a zona intermediária procedente das diferentes vertentes que tributam nele. Todo o sistema está delimitado pelo divisor de águas que contornam a bacia hidrográfica. As vertentes do terreno e os canais estão ajustados para dispor, da maneira mais eficiente possível, da vazão e sua carga de partículas minerais.

STRAHLER & STRAHLER (1989), descrevem uma rede de drenagem tributária com uma única saída, exemplificada aqui pela bacia do rio dos Sinos, mapa 1.



Autor: Ednardo C. Lima

### Legenda

-  HIDROGRAFIA
-  Limite da Bacia
-  Planície fluvial
-  0 - 100 m
-  101 - 400 m
-  401 - 600 m
-  601 - 800 m
-  801 - 1005 m

1:700.000

DATUM WGS 84  
Projeção Transversa de Mercator  
Fuso 22S

Mapa 1 – Rede de drenagem e altimetria da bacia do rio dos Sinos.

### 2.1.1 Áreas de várzea

Com relação às áreas de várzea, STRAHLER & STRAHLER (1989), fazem uma relação entre o uso e ocupação do solo em áreas de várzea (planícies de inundação) e as enchentes. Onde inicialmente os autores definem enchentes como o processo onde a vazão do rio não pode ser acomodada entre as margens de vazão normal, de maneira que a água transborda para as áreas adjacentes. E as áreas de várzea como uma franja

de terrenos baixos e planos que limitam a vazão do rio em um ou ambos os lados do rio, que são inundados pela vazão de água aproximadamente uma vez ao ano. Esse processo de inundação ocorre em áreas de clima úmido, nesse caso o clima temperado do tipo subtropical (Cfa - classificação de Köppen, 1936) da região da bacia do rio dos Sinos se encaixa na descrição dos autores. Essa inundação ocorre geralmente na estação de maior volume de chuvas e não impedem o crescimento de bosques e matas ciliares associadas aos rios. Todavia a ocupação desses terrenos para atividades agrícolas e moradias, poderá sofrer enchestes sazonais e deverão ser evitadas, uma vez que os autores destacam que descargas maiores de água, raras e desastrosas, podem ocorrer de uma forma frequente a cada 30 ou 50 anos, inundando os terrenos que se incluem no leito de inundação maior, conforme a figura 1.

### 2.1.2 Bacia hidrográfica do rio dos Sinos, aspectos socioeconômicos e ambientais

O território do Rio Grande do Sul é formado por três grandes bacias hidrográficas: a bacia do rio Uruguai, a qual faz parte da bacia do rio da Prata e abrange cerca de 57% da área total do Estado; a bacia do Guaíba com 30% do total e a bacia Litorânea com 13% do total. A figura 2 demonstra a divisão das redes hidrográficas do Estado nas três grandes bacias.



Figura 2 – Bacias Hidrográficas do RS.

Fonte: <http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/exibelmq.asp?img=156>. Acessado em 20/04/2011/

A bacia do Guaíba apresenta áreas de grande concentração industrial e urbana, sendo a mais densamente povoada do Estado, além de sediar atividades diversificadas incluindo indústria, agropecuária e agroindústria, entre outras. (ATLAS SOCIOECONOMICO DO RS, 2011).

Segundo o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, a gestão dos recursos hídricos vem alcançando importantes avanços com a instalação dos Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas, cujo trabalho visa definir instrumentos de planejamento e gestão dos recursos hídricos, promovendo a sua recuperação e conservação.

Das 23 sub-bacias do Estado, 16 já contam com Comitês instalados e operantes, 4 apresentam comissões provisórias e 4 são bacias compartilhadas que necessitam tratamento especial. A bacia do rio dos Sinos possui um comitê, o Comitesinos, criado em 17/03/1988 através do decreto número 32.774 (ANA, 2011).

Com relação às atividades econômicas, uso do solo e recursos hídricos ao longo do Vale do rio dos Sinos, PEREIRA (1999), destaca inicialmente que a bacia é responsável por grande parte do crescimento econômico do Estado, quanto aos gêneros metalúrgico, mecânico, material elétrico e de comunicação e de material de transporte.

Além desses, se destacam os setores de química, a indústria de vestuário, como o calçado, importante gênero industrial, gênero que evoluiu a partir de pequenos estabelecimentos artesanais localizados inicialmente em São Leopoldo e Novo Hamburgo, os quais aproveitam a matéria-prima originada na metade sul do Estado (região da Campanha Gaúcha). A indústria contou com capitais, mão-de-obra e mercado local, à base do qual se expandiu, característica marcante na gênese econômica-industrial do Rio Grande do Sul. Esta evolução ocorreu de tal forma a ponto de possibilitar a presença de centros especializados no setor de calçados dentro de uma área que se individualiza e cujos centros mais característicos são: Campo Bom, Sapiranga e Novo Hamburgo. Este, dentro da área coureiro-calçadista, é um dos mais importantes centros, tanto por seu crescimento e comercialização como por sua industrialização.

São Leopoldo, fazendo parte ainda da área coureiro-calçadista caracteriza-se, porém, por maior diversificação de setores industriais. Os municípios de Canoas, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Gravataí, Sapucaia do Sul e Esteio são responsáveis por mais da metade do Valor Adicionado gerado no vale do rio dos Sinos, esses municípios apresentam um elevado grau de industrialização.

Dentro da atividade industrial predomina a produção de bens de consumo não duráveis, especialmente couro e calçado. A área concentra 28,47% dos estabelecimentos industriais totais no Estado, sendo 35,44% de bens de consumo e 23,01% de bens de produção, segundo PEREIRA (1999).

Com relação ao uso do solo por atividades primárias, as pastagens ocupam (55,8%) das áreas rurais, caracterizando uso predominante da agricultura como subsistência para a pecuária. A irrigação é utilizada em apenas 4,6% dos estabelecimentos, atingindo 2,0% da área agrícola. Os municípios que mais utilizam a irrigação na bacia são, proporcionalmente, Canoas, Gravataí e Taquara, PEREIRA (1999).

Com relação à utilização dos recursos hídricos da bacia, PEREIRA (1999), destaca o predomínio do consumo doméstico urbano (54,60%) e rural (0,68%), em virtude da expressiva ocupação populacional da bacia, seguido pela indústria (22,45%), concentrado principalmente nos municípios de Canoas, Esteio, Sapucaia do Sul, São Leopoldo e Novo Hamburgo e irrigação de arroz (20,38%), que segundo PEREIRA (1999), estando representada basicamente pelo cultivo de arroz irrigado, principalmente no baixo vale (município de Nova Santa Rita) e nos municípios de Taquara, Rolante e Santo Antônio da Patrulha, dados de 1999.

Com relação à retração do espaço rural, SPRICIGO & FILLIPPI (2006), efetuaram estudos no Vale do rio dos Sinos, mais especificamente no COREDE do Vale do Rio dos Sinos, onde a população rural entre os anos de 1970 a 2000 apresentou significativa queda, no ano de 1970 a população rural era de 39.683 (8,82% do total) e em 2000 passou a 25.696 (2,15% do total), o período de maior retração foi entre 1996, com 48.758 habitantes (4,40% do total), vivendo em áreas rurais para os 25.696 de 2000.

De uma forma geral, SPRICIGO & FILLIPPI (2006), apontam crescimento populacional dessa região, tal como as áreas urbanizadas, recebendo migrantes de outras regiões do Estado. Os dados demográficos citados pelo IPEADATA (2000), confirmam esse fato e tendência, uma vez que em 1991 a população total da região era de 9.138.670 habitantes e em 2000 passou a 10.187.798 habitantes, apresentando crescimento de 11,48%. Outro dado apresentado é a área total urbanizada dos municípios do COREDE de apenas 21,33% SPRICIGO & FILLIPPI (2006), apud MIRANDA, E. E. de *et. al* (2005).

Os dados apresentados nos indicam um cenário onde a agricultura e a população rural estão cada vez mais retraídas, destacando-se as atividades industriais e a expansão

urbana. Esses estudos indicam de forma preliminar um desaparecimento do rural na região, onde a agropecuária não se destaca como atividade econômica principal na região, destaca-se uma região urbana. Entretanto, destacam que o meio rural e atividades relacionadas não se extinguíram completamente.

## **2.2 Sensoriamento remoto**

NOVO (2008), define sensoriamento remoto como a utilização conjunta de sensores, equipados de transmissores de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações que o compõem em suas diversas manifestações.

### **2.2.1 Geoprocessamento**

No contexto atual de pleno avanço técnico-científico-informacional, o termo Geoprocessamento, segundo CÂMARA *et. al* (2001), denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de *Sistemas de Informação Geográfica (GIS)*, permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos. Do ponto de vista da tecnologia, desenvolver um SIG significa oferecer o conjunto mais amplo possível de estruturas de dados e algoritmos capazes de representar a grande diversidade de concepções do espaço.

Segundo o autor, a forma mais aplicada de geoprocessamento utiliza uma escala de mensuração que permite associar grandezas numéricas a cada objeto a ser representado de forma informacional.

## 2.2.2 Sistema de Informações Geográficas - SIG

O termo *Sistemas de Informação Geográfica* (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento, manipulação computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características numéricas ordenadas, mas também através de sua localização espacial. Esse sistema oferece ao usuário uma visão ampla de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, inter-relacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum, a localização geográfica. Para que isto seja possível, a geometria e os atributos dos dados num SIG devem estar *georreferenciados*, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica, CÂMARA *et. al* (2001).

Segundo o autor, há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG:

- como ferramenta para produção de mapas;
- como suporte para análise espacial de fenômenos;
- como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Estas três visões do SIG são antes convergentes que conflitantes e refletem a importância relativa da manipulação e tratamento da informação geográfica dentro de um trabalho multidisciplinar que buscam compreender o espaço geográfico como um todo.

Outra tendência observada é a intensificação do uso de imagens digitais como informação complementar à informação vetorial. Cada vez mais, o uso de imagens (*raster*) torna-se economicamente interessante e tecnicamente viável, pois a evolução do hardware fez com que os custos de armazenamento e processamento de grandes volumes de imagens fossem drasticamente reduzidos. Em especial, espera-se um incremento no uso de imagens de satélite, com impulso maior a partir do lançamento de satélites com sensores de resolução mais alta, CÂMARA *et. al* (2001).

## 2.2.3 Imagens orbitais

Obtidas por satélites, representam formas de captura indireta de informação espacial, armazenadas como matrizes, cada elemento de imagem (denominado "pixel") tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.

As características importantes de imagens de satélite são: o número e a largura de bandas do espectro eletromagnético imageadas (*resolução espectral*), a menor área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor (*resolução espacial*), o nível de quantização registrado pelo sistema sensor (*resolução radiométrica*) e o intervalo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto (*resolução temporal*), CÂMARA et al. (2001).

Segundo SILVA (2001), as imagens de sensoriamento remoto, por sua natureza digital, são constituídas por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou grid. Cada cela desse grid tem sua localização definida em um sistema de coordenadas do tipo "*linha e coluna*", representados por "*x*" e "*y*", respectivamente. Por convenção, a origem do grid é sempre no seu canto superior esquerdo. O nome dado a essas celas é pixel, derivado do inglês "*picture element*". Para um mesmo sensor remoto, cada pixel representa sempre uma área com as mesmas dimensões na superfície da Terra. Cada cela possui também um atributo numérico "*z*", que indica o nível de cinza dessa cela, que obviamente vai variar do preto ao branco, esse nível de cinza é conhecido em inglês por DN, de "*digital number*". O DN de uma cela representa a intensidade da energia eletromagnética (refletida ou emitida) medida pelo sensor, para a área da superfície da Terra correspondente ao tamanho do pixel. Deve ser ressaltado que o DN de um pixel corresponde sempre à média da intensidade da energia refletida ou emitida pelos diferentes materiais presentes nesse pixel.

Uma imagem digital pode então ser vista como uma matriz, de dimensões *x* linhas por *y* colunas, com cada elemento possuindo um atributo *z* (nível de cinza). No caso das imagens de sensoriamento remoto, essas matrizes possuem dimensões de até alguns milhares de linhas e de colunas (o sensor TM do satélite Landsat gera imagens de 6.550 x 6.550 elementos, o que significa mais de 42 milhões de pixels para cada banda!).

SILVA (2001), ressalta também que qualquer imagem, mesmo não digital (como uma fotografia aérea, por exemplo), pode ser transformada em imagem digital através de um processo conhecido por digitalização. Esse processo é implementado através de um tipo de equipamento periférico denominado "*scanner*", que transforma uma imagem analógica (fotografias, mapas, etc.) em uma matriz com o número de linhas e colunas e o tamanho de cada cela pré-definidos, atribuindo para cada cela um valor de nível de cinza proporcional à tonalidade da imagem original. Essa matriz é então convertida para um formato digital gráfico, podendo ser lida e manipulada por sistemas de processamento digitais.

### 2.2.3.1 Resolução de imagens orbitais

Segundo SILVA (2001), a resolução espacial é definida pela capacidade do sistema sensor em "enxergar" objetos na superfície terrestre, quando menor o objeto possível de ser visto, maior a resolução espacial. A maneira mais comum de se determinar a resolução espacial de um sensor é pelo seu campo instantâneo de visada ou IFOV. Este campo é determinado pelas propriedades geométricas do sistema sensor e define a área do terreno imageado que é "vista" pelo instrumento sensor de uma dada altitude e a um dado momento. O IFOV é medido pelas dimensões da área vista no terreno e, de uma forma simplificada, ele representa o tamanho do pixel, figura 3.

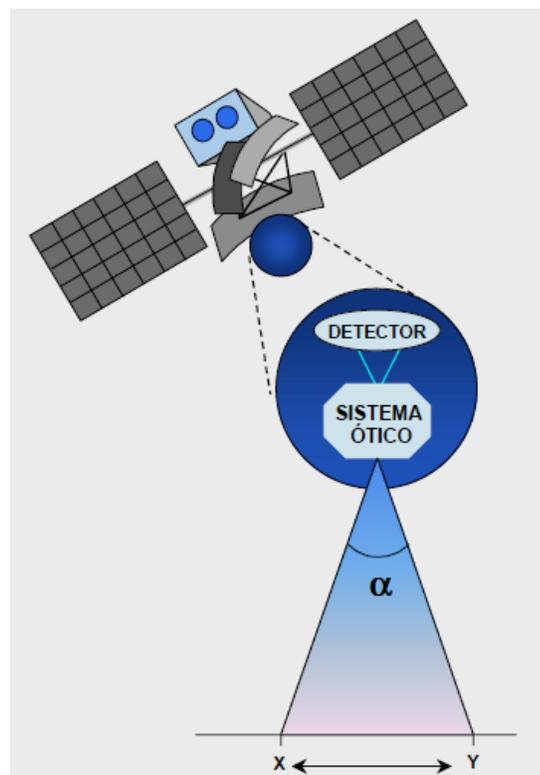


Figura 3 - Campo instantâneo de visada (IFOV) de um sensor.

(Fonte: SILVA, 2001)

A resolução espectral é um conceito inerente às imagens multiespectrais de sensoriamento remoto. Ela é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda. Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior é a resolução espectral de um sensor. O conceito de banda, pode ser exemplificado no caso de duas

fotografias tiradas de um mesmo objeto, uma em branco-e-preto e a outra colorida; a foto branco-e-preto representa o objeto em apenas uma banda espectral, enquanto a foto colorida representa o mesmo objeto em três bandas espectrais, vermelha, azul e verde que, quando combinadas por superposição, mostram o objeto em cores.

A resolução radiométrica é dada pelo número de níveis digitais, representando níveis de cinza, usados para expressar os dados coletados pelo sensor. Quanto maior o número de níveis, maior é a resolução radiométrica. Como exemplo: numa imagem com apenas 2 níveis (branco e preto) em comparação com uma imagem com 32 níveis de cinza entre o branco e o preto, a quantidade de detalhes perceptíveis na segunda será maior do que na primeira e portanto a segunda imagem terá uma melhor resolução radiométrica. O número de níveis é comumente expresso em função do número de dígitos binários ("*bits*") necessários para armazenar em forma digital o valor do nível máximo. O valor em bits é sempre uma potência do número 2, desse modo, "6 bits" quer dizer 64 níveis. Os sistemas sensores mais comuns, dos satélites LANDSAT e SPOT, possuem resolução radiométrica variando entre 6 e 8 bits, o que significa de 64 a 256 níveis de cinza. O sistema visual humano não é muito sensível a variações em intensidade, de tal modo que dificilmente são percebidas mais do que 30 diferentes tons de cinza numa imagem, o computador, por sua vez, consegue diferenciar qualquer quantidade de níveis, razão pela qual torna-se importante ter imagens de alta resolução radiométrica.

#### **2.2.4 Processamento digital de imagens (PDI)**

Segundo SILVA (2001), a função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é:

**“fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contidas nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas.”p.1**

Dessa forma, esse subitem do capítulo 2, faz uma revisão sobre as principais técnicas de PDI de interesse em função das propriedades dos objetos ou padrões que compõem as imagens selecionadas e os objetivos propostos.

### 2.2.4.1 Realce de imagens

Várias manipulações do espaço espectral podem ser consideradas como técnicas de realce de dados, porque elas não geram informações novas, mas apenas tornam explícitas as informações de interesse, segundo NOVO (2008), SILVA (2001).

Uma vez que o sistema visual humano só consegue discriminar cerca de 30 tons de cinza, e assim mesmo só quando eles são bastante espalhados entre o preto e o branco (representados digitalmente pelo 0 e pelo 255, respectivamente), uma imagem de satélite vista da forma como é adquirida pelo sensor aparece visualmente com baixo contraste. Para que as informações nela contidas possam ser extraídas por um analista humano, o seu histograma comprimido tem então que ser expandido para ocupar todo o intervalo disponível. Esse conceito é a base do chamado aumento de contraste ("*contrast stretch*" em inglês). Segundo SILVA (2001), o aumento de contraste é provavelmente uma das mais importantes e a mais usada das técnicas de processamento para extração de informações de imagens de sensoriamento remoto. Apesar disso, ele é muitas vezes considerado (erroneamente) como um processo simples e aplicado usando-se "receitas" contidas no software de sistemas de processamento de imagens, a função dele é apenas apresentar a mesma informação contida nos dados brutos, porém de uma forma mais claramente visível ao intérprete. Outro ponto importante é que deve-se ter bem claros os motivos pelos quais vai-se aplicar o aumento de contraste em uma imagem, antes mesmo de fazê-lo, uma vez que esse processamento pode afetar o resultado de operações subsequentes. Ao se usar essa técnica em um estágio de pré-processamento, deve-se atentar para o fato de que parte da informação pode ser perdida, dependendo da forma como é feito o aumento de contraste.

O contraste de uma imagem é uma medida do espalhamento dos níveis de intensidade que nela ocorrem, esse conceito é facilmente entendido ao se examinar o histograma de uma imagem: quanto mais espalhado for ele, maior o contraste da imagem e vice-versa. Deve ser lembrado que, em qualquer sistema sensor, esse intervalo de espalhamento é sempre positivo e limitado por um mínimo e por um máximo, sendo mais usual o intervalo de 0 a 256 níveis de cinza. Uma das aplicações mais comuns do aumento de contraste é na preparação de composições coloridas usando três bandas de um sensor. Para que seja obtida uma boa distribuição de cores nesse tipo de composição, é necessário que as três bandas tenham primeiramente os seus contrastes aumentados.

Desse modo, obtém-se uma maior variação de matizes nas três cores básicas (vermelho, azul e verde) às quais serão atribuídas as três bandas.

#### 2.2.4.1.1 Filtragem de Frequências Espaciais

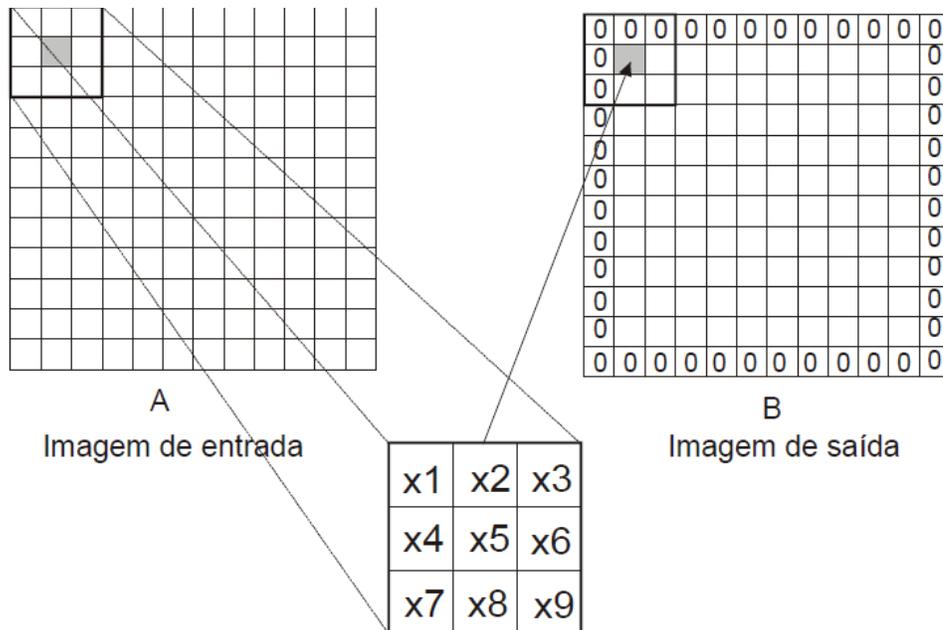
Existem também manipulações das imagens que se dão no chamado domínio espacial das imagens. Essas transformações permitem extrair ou modificar os atributos espaciais das imagens, realçando certos aspectos da cena. Dentre as transformações espaciais mais comuns destacam-se os filtros lineares, os morfológicos e os de textura.

A operação subjacente ao processo de filtragem é o uso de uma janela móvel que se desloca sobre a imagem, e executa determinadas operações sobre os pixels nela contidos. Isso significa que o processo de filtragem representa uma transformação da imagem que depende não apenas do valor digital de um dado ponto da cena, mas também do valor digital de seus vizinhos, PERROTTA (2005).

Os filtros passa-baixa, de interesse nesse trabalho, preservam os componentes de baixa-frequência de uma imagem, suavizando-a, por isso são utilizados, geralmente, para atenuar ruídos existentes numa cena. O resultado de uma filtragem passa-baixa é a redução da variabilidade dos níveis digitais da cena, NOVO (2008).

O grande problema desse tipo de filtro, segundo SILVA (2001), é que o efeito colateral produzido equivale a "desfocar" a imagem toda e, conseqüentemente, perder informações de detalhe. Todavia, existem alguns tipos de filtros passa baixas que permitem a retenção de detalhes ou bordas. Nesse tipo de filtro a soma dos pesos usados na máscara é sempre igual a um. Outra característica deles é que o efeito de suavização ou "desfocagem" aumenta proporcionalmente à dimensão da máscara usada, de tal forma que uma máscara 9x9 vai produzir uma imagem muito mais desfocada do que uma máscara equivalente de dimensões 3x3.

Dessa forma, os filtros podem ser entendidos como janelas móveis de matrizes quadradas de dimensões variáveis que caminham sobre a imagem original, a passos de um *pixel* na direção das linhas (até o final de cada uma) e colunas, modificando-a, pois a cada passo, conforme a operação feita no seu interior (média, mediana, etc), modificam o *pixel* central da janela correspondente na imagem original conforme a figura 4, abaixo.



**Figura 4 - Janela da máscara**

Fonte: (PERROTTA, 2005)

### 2.2.4.2 Composição Colorida

A composição colorida falsa-cor é a mais tradicional forma de se combinar três bandas espectrais de satélite para a formação de uma composição colorida e a mais usada, segundo SILVA (2001). Para produzi-la, usando-se os sensores do satélite LANDSAT, são usadas as combinações TM 4, 3 e 2 em RGB, respectivamente. A origem dessa combinação vem da época da Segunda Guerra Mundial, quando foi desenvolvido o filme colorido infra-vermelho para separar camuflagem da vegetação verdadeira. Como esse filme possui resposta espectral semelhante a essas combinações TM, as cores resultantes são similares. As combinações de bandas acima (TM 4,3,2 em RGB) produzem imagens cujas cores coincidem com uma experiência já adquirida por fotointérpretes, onde a vegetação de cor verde reflete intensamente a energia eletromagnética no comprimento de onda relativo ao infra-vermelho, aparecendo portanto em cores vermelhas. Em relação ao TM, que possui bandas espectrais coincidentes com os comprimentos de onda da radiação visível, ao contrário do MSS, a combinação das bandas TM 3,2,1 em RGB é bastante utilizada, sendo portanto equivalente a uma composição colorida real, pois equivale às cores percebidas pelo ser humano.

Na realidade segundo o autor, pode-se usar quaisquer três bandas para se produzir uma composição colorida. Contudo, uma cuidadosa seleção das mesmas faz-se necessária, para que a combinação de três bandas contenha a informação espectral realmente desejada. Esse fato gera aumento de dificuldades conforme aumenta o número de bandas, o que é uma tendência sempre crescente em sensores remotos. Em seguida, deve ser buscada uma alocação de cores que traduza para o olho humano essa informação da melhor forma possível. Embora a informação contida em um determinado conjunto de bandas seja sempre a mesma, independentemente da alocação de cores, a diferença em percepção do nosso sistema visual faz com que diferentes combinações coloridas das mesmas três bandas pareçam na prática conter diferentes informações. Por isso, a seleção das bandas para compor uma composição colorida, assim como a alocação de cores, não são questões triviais e merecem a devida atenção, uma vez que, pode-se desperdiçar informação.

Um ponto importante nessa questão é o fato de que cada cena de satélite possui características próprias e cada tipo de informação desejada também, por isso, deve-se procurar selecionar cuidadosamente as bandas a serem combinadas, com base nas características espectrais dos alvos desejados, e tentar diversas combinações de cores, até achar uma que mais satisfaça aos olhos. Pode-se, para isso, atribuindo cada cor de acordo com a visibilidade relativa da feição de interesse, isso pode significar alocar a banda com informação textural à cor verde (pois textura geralmente é dada por variações na intensidade de uma imagem, sendo que o olho é muito sensível a mudanças em intensidade e não o é com relação à cor verde), enquanto as bandas contendo feições espectrais mais sutis seriam alocadas às cores azul e vermelho (para as quais o olho é mais sensível). Desse modo, a heterogeneidade da percepção visual seria compensada em parte, tornando a composição colorida mais eficaz.

#### **2.2.4.3 Classificação Digital**

O desenvolvimento de sistemas para classificar dados sobre uso e ocupação do solo, obtidos a partir da utilização de técnicas de sensoriamento remoto, tem sido muito discutido. O tipo e a quantidade de informações sobre o uso e ocupação do solo que podem ser obtidas pelos diferentes sistemas de sensores dependem da resolução espacial, radiométrica, espectral e temporal dos mesmos (ROSA, 2009). Dessa forma, o

autor sugere seguir uma série de etapas para uma boa geração de classes em uma geração de mapeamento de uso e ocupação do solo, como segue:

- Elaboração de mapa base: limite da área de interesse, drenagem, coordenadas, etc;
- Elaboração de uma chave de interpretação de imagem orbital;
- Interpretação visual preliminar das imagens em papel;
- Trabalho de campo: com o objetivo de estabelecer uma associação entre o que foi identificado na imagem, com as correspondentes unidades existentes no terreno;
- Interpretação visual final: com o objetivo de ajustar a interpretação visual preliminar após a coleta dos dados em campo;
- Montagem do mapa temático final.

Nesse sentido faz-se necessário abordar apenas o item chave de interpretação, que consiste em analisar os elementos das imagens orbitais, tais como: cor, textura, forma, etc.. Elaborando uma chave de interpretação para cada banda ou composição colorida a ser usada, dependendo das classes a serem usadas na classificação, ferramenta que auxilia no entendimento da metodologia usada na elaboração do mapeamento de uso e ocupação do solo.

NOVO (2008), destaca que o uso de computadores para a extração de informações de imagens digitais, também conhecida como análise quantitativa por analisar suas propriedades numéricas, processo de atribuir significado a um pixel em função de suas propriedades numéricas é chamado genericamente de classificação. Técnicas essas que visam, em última análise, atribuir a cada pixel da imagem um rótulo em função de suas propriedades espectrais e ou espaciais.

Os dados multiespectrais podem ser representados num espaço multidimensional, tal que, cada pixel da imagem se encontre representado por características associadas ao seu brilho (nível digital) em cada uma das bandas, e esse brilho seja dependente do comportamento espectral dos alvos de interesse.

A análise das características do brilho dos pixels que formam uma imagem digital nos permite observar padrões que podem ser agrupados em classes, que permitem classificar uma imagem. Uma forma de composição colorida multiespectral para a classificação digital sugerida pela autora com imagens do sistema de sensor TM:

**“Na composição colorida das bandas TM3(R), TM4(G) e TM5(B) podem ser observadas diferentes cores. Associando-se essas cores ao comportamento espectral de alvos, pode-se verificar que o verde é o resultado da alta reflectância da vegetação na banda TM4 (associada ao verde). A cor rósea do solo se deve à relativamente alta reflectância dos solos na banda TM3 (associada ao vermelho) e TM4. A cor preta da água se deve à baixa reflectância da água nas bandas TM3 e TM4. Se amostras de pixels de solo, água e floresta forem distribuídas num diagrama bidimensional em que o eixo y é associado ao valor do pixel na banda TM4 e o eixo x ao valor do pixel na banda TM3, estas formarão agrupamentos distintos em função das diferenças que apresentam em seu comportamento espectral.” P.289**

OLIVEIRA (2009), testou algoritmos para as classificações supervisionadas e não supervisionadas em um recorte pré-definido da área desejada, no estudo em questão foi um recorte da área do município de Três Cachoeiras, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Os testes objetivaram apurar a acurácia das classificações, a partir de uma base de uso e cobertura da terra, elaborada por interpretação visual. Com base nesse estudo verifica-se a importância de testar diferentes algoritmos de classificação, uma vez que, permitem averiguar as potencialidades dos mesmos, ou como destaca o autor as dificuldades na discriminação das classes florestais, devido aos diferentes estágios de regeneração.

Quanto aos resultados dos testes nas classificações de imagens orbitais pelos algoritmos baseados em pixels (Máxima Verossimilhança Gaussiana e Distância Mínima Euclidiana), por não considerarem a textura da imagem de um grupo pré-selecionado (amostras de treinamento), apresentaram pontos de pixels “pulverizados” (grifos do autor) dentro das classes e acurácia de qualidade boa e razoável respectivamente segundo o método estatístico de Kappa. Já as classificações geradas pelos algoritmos de classificação que necessitam de segmentação das imagens antes de classifica-las (Bhattacharya e Ioseg), eliminando os pixels isolados, geraram imagens temáticas com qualidade visuais muito superiores e de acordo com a Estatística Kappa, apresentaram índice de acurácia de boa qualidade e exatidão global de 69,13% e 64,33% respectivamente. Destacando o classificador algoritmo Bhattacharya como o de melhor desempenho dentre os algoritmos testados, para a distinção entre área de cultivo de bananas e as demais classes definidas.

Em geral segundo E. FERREIRA *et al.* (2001), na classificação supervisionada o algoritmo mais utilizado e o de Máxima verossimilhança, este algoritmo estatístico (MaxVer), que consiste em classificar a imagem ponto a ponto, usando o critério da máxima verossimilhança a partir de classes fornecidas pelo usuário, o qual segue o

modelo de distribuição gaussiana (calcula as funções de densidade de probabilidade de ocorrência de cada classe (um ponto  $Z$  será pertencente a determinada classe se  $pr(Z) > \text{limiar}$ ), onde o limiar é um valor real positivo abaixo do qual um ponto não é considerado como pertencente a uma classe), para o limite de decisão entre classes temáticas. Esse algoritmo baseia-se no cálculo da distância estatística entre cada pixel e na média dos níveis de cinza das classes de amostras previamente obtidas na fase de treinamento.

### **2.3 Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado a estudos de uso e ocupação de solo**

ROSA (2009), apresenta uma pequena, porém esclarecedora definição sobre os estudos de uso e ocupação do solo, como uma busca pelo conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou quando não utilizado, a caracterização dos tipos de categorias vegetais, da área ocupada pela agricultura, das áreas urbanas e edificadas, sua distribuição espacial e suas respectivas localizações geográficas.

O conhecimento atualizado das formas de utilização e ocupação do solo, bem como o uso histórico, tem sido utilizado como fator imprescindível ao estudo dos processos que se desenvolvem em uma determinada região, tornando-se fundamental para a compreensão dos efeitos de seu uso inadequado e consequente deterioração do meio ambiente. Os processos de erosão, desertificação, inundações, assoreamento de cursos d'água, têm sido exemplos cotidianos desse uso inadequado.

Segundo FERREIRA & GONÇALVES (2009), a tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica vem se impondo como uma ferramenta de rotina para a visualização e análise da informação espacial, sendo usada extensivamente em aplicações como a classificação de uso do solo, análise e planejamento de transportes, análise geodemográfica, cartografia de redes de infraestruturas e em múltiplas aplicações de gestão de recursos naturais. Com a crescente necessidade da Ciência Geográfica utilizar ferramentas que lhe possibilitem um melhor conhecimento das dinâmicas espaciais, aliadas à possibilidade de cartografar, monitorar e interpretar o espaço, o SIG constitui um dos mais modernos pilares para a operacionalização e interpretação da geografia, o que contribui para subsidiar consideráveis avanços na análise espacial.

Reforçando a ideia do uso de geotecnologias na análise espacial, e de forma mais específica, nos estudos de uso e ocupação do solo em áreas de bacias hidrográficas, FERREIRA & GONÇALVES (2009) revelam bons resultados no mapeamento de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio Campo Triste no Mato Grosso do Sul. Onde foi possível localizar e quantificar não somente os tipos de uso e ocupação da terra, mas também identificar alterações ambientais, como ausência de vegetação ciliar, processos erosivos e assoreamento. Os materiais utilizados foram imagens orbitais Landsat 5, disponibilizadas pelo INPE, tratadas e processadas no software SPRING 5.0.5. Esses recursos possibilitaram a obtenção de um mapeamento temático da bacia estudada, com classes temáticas: água, pastagem, vegetação natural e eucalipto. Obtendo também dados temáticos quantitativos que geram gráficos e tabelas estatísticas dos diferentes usos da bacia hidrográfica.

ALMEIDA *et. al.*(2009), efetuaram um trabalho de identificação e análise dos problemas causados pela ocupação do solo na bacia do rio Vieira no município de Montes Claros, norte de Minas Gerais. A escolha da área se deve ao fato da mesma abrigar área urbana no canal fluvial principal da bacia e da mesma receber uma intensa carga de dejetos do esgoto urbano tanto domiciliar quanto industrial.

Na geração e extração das informações da área de estudo os autores usaram os softwares: Spring 5.0 e ArcGis 9.3. e imagens do satélite Landsat 5 (TM) referentes ao mês 09, ano 2009, bandas 3,4 e 5 , e um modelo numérico de terreno (MNT) presente na imagem do radar SRTM do zoneamento SE-23-X-A, disponível no site da Embrapa.

Utilizaram uma proposta metodológica de chave de interpretação visual de imagens, que consiste na interpretação visual preliminar, trabalho de campo da verificação preliminar e interpretação final, fato que segundo os autores subsidiará o processamento digital da imagem. Os mesmos escolheram as seguintes classes temáticas: Mineração, Vegetação Natural, Água, Cultivo, Pastagem, Mata de Galeria e Outros. Para a aquisição e classificação dessas classes utilizaram o classificador digital de pixels semelhantes (MAXVER) que gera parâmetros estatísticos para ponderar as distâncias entre as médias dos níveis digitais das classes e considerar a distribuição de probabilidade para cada classe mapeada.

Os principais resultados apontados pelos autores foram, que a classe de maior ocorrência na bacia do Vieira é a vegetação natural, concentrada à montante da bacia,

haja vista que a maior parte da cobertura da vegetação natural está próxima a nascente. Enquanto, que a pastagem e o cultivo expõem a estrutura fundiária da bacia, onde a pecuária e o cultivo eucalipto são formas de exploração de grandes porções de terra. Uma classe definida como outros que apresentou uma área considerável, representa pontos de confusão entre a resposta espectral e os diversos usos no espaço real, como exemplo, solo exposto e mancha urbana. O mapeamento do uso do solo na bacia hidrográfica do rio Vieira, apontou um contraste explícito na preservação da vegetação natural, pois há maior área de vegetação natural na parte alta da bacia, enquanto na jusante do Vieira é perceptível a queda dos percentuais de cobertura natural.

### **2.3.1 Estudos espaço-temporais de uso e ocupação do solo**

DORNELES (2003), efetuou estudos de alterações espaço-temporais de classes de uso do solo em bacias hidrográficas e desenvolveu uma metodologia para a simulação das alterações em três classes: cerrado, compôs e uso antrópico. A área de estudo foi a bacia do córrego Guariroba, pertencente a bacia do rio das Botas, Mato Grosso do Sul, usou imagens Landsat 5 (bandas 1, 2, 3, 4 e 5) e cartas topográficas do exército, tomadas de cena de 1973, 84 e 97.

Para esses estudos de alterações espaço-temporais, DORNELES (2003) efetuou classificação digital das imagens nas classes citadas, onde o mesmo efetuou comparações usando gráficos e tabelas como orientação para a análise quantitativa das alterações por classes entre os três anos de amostragem. Essas classificações digitais foram comparadas com o modelo estatístico/probabilístico dicotômico de simulação de alterações espaço temporais, desenvolvido a partir de classes isoladas, onde janelas amostrais (matrizes), efetuam contagem de ocorrência de pixels de permanência ou não da classe e a vizinhança, gerando imagem de dados probabilísticos para uma dada data.

Os resultados comparativos, revelaram concordância satisfatória para a redução de classes (não permanência), como os casos de campos e cerrado, porém insatisfatórios para a expansão, como o caso da classe de uso antrópico, devido a inadequação do método estatístico dicotômico para o calculo de redução de uma classe.

SARAIVA (2009) apresenta um estudo de alterações-espaço temporais em um período de 10 anos no Estado de Rondônia, no que tange principalmente o desflorestamento no estado de Rondônia antes, durante e após a implementação do

Zoneamento Socioeconômico-Ecológico, relacionando-o às suas zonas e subzonas, aos municípios e às células de 5 por 5 km.

Os dados utilizados foram arquivos matriciais, compostos de 42 classes temáticas, cujas principais são: Desflorestamento; Floresta; Nuvem; Desflorestamentos de cada ano anterior e suas subdivisões referentes à presença de nuvens, além da hidrografia e da classe Não-floresta, que engloba as áreas definidas como outras fisionomias vegetais que não floresta, como o cerrado e as áreas urbanas.

SARAIVA (2009), obteve a evolução geral das classes através da sobreposição dos dados em um SIG. Os resultados destacados nessa revisão foram na escala do Estado, para as classes de desflorestamento e floresta. O total de desflorestamento acumulado no período de 1997 a 2006 corresponde a 31,49% da área do Estado. A análise das alterações da floresta remanescente permitiu quantificar a perda de floresta e como ela sofre o processo de desflorestamento no que tange sua distribuição espacial, concentração ou fragmentação.

### **3. Materiais e métodos**

Neste capítulo, são apresentadas as características da área de estudo, descritos os materiais utilizados, bem como as técnicas e métodos adotados no mapeamento do uso e ocupação do solo da bacia do rio dos Sinos no período de 08/09/1993 a 13/04/2009, a análise das alterações espaciais e o mapeamento da área de várzea da bacia do rio dos Sinos em 13/04/2009, de acordo com os objetivos propostos.

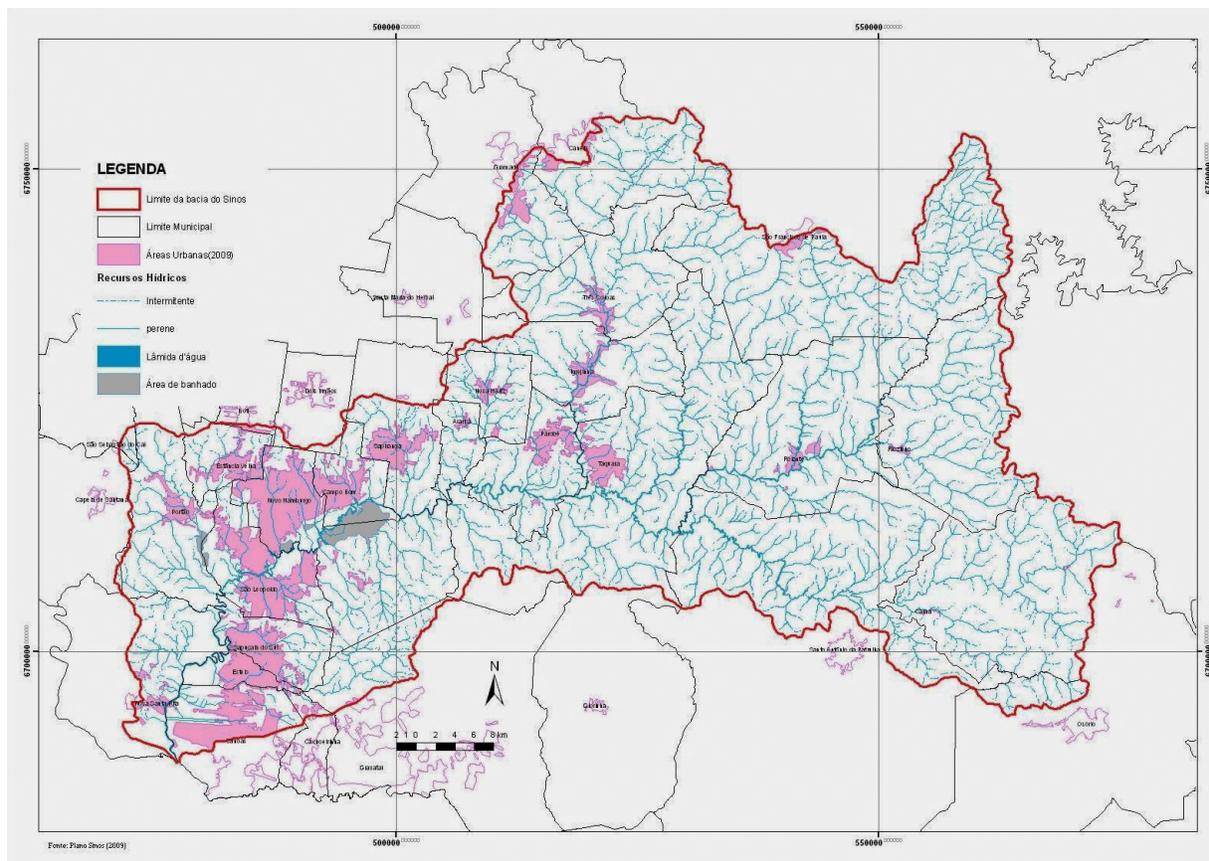
Para a realização deste trabalho inicialmente procedeu-se a leitura de referências bibliográficas, consultas em sítios eletrônicos e seleção de imagens orbitais. Essas referências abordam os temas relacionados com os objetivos propostos nesse trabalho.

Outro método utilizado foi o auxílio das geotecnologias disponíveis para extração de resultados eficazes, para tanto utilizou-se de técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e sistemas de posicionamento global.

### 3.1. Área de estudo

A área de estudos compreende a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, situada a nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas de 29°20' a 30°10' de latitude Sul e 50°15' a 51°20' de longitude Oeste.

Possui uma área aproximada de 3.820 km<sup>2</sup>, correspondendo a 4,5% da bacia hidrográfica do Guaíba e 1,5% da área total do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2010), com uma população estimada de 1.346.151 habitantes, sendo que 90,6% (1.281.620), ocupam as áreas urbanas e 9,4% (64.531), estão em áreas rurais, distribuídos total ou parcialmente em 32 municípios (Comitesinos, 2010), muitos dos quais caracterizados por alta densidade populacional e atividades industriais de grande porte, especialmente na Região Metropolitana de Porto Alegre. A figura 5 , ilustra a localização da bacia no Estado.



**Figura 5 – Mapa da área da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos no Estado do Rio Grande do Sul.**

Fonte: Comitesinos – Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos/RS. Acessa em 11/01/2011,

[http://www.comitesinos.com.br/site/index.php?option=com\\_content&task=view&id=13&Itemid=27](http://www.comitesinos.com.br/site/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=27)

Segundo o Comitesinos (2010), o rio dos Sinos tem cerca de 190 km de curso desde sua nascente até sua foz no município de Canoas que, somados aos demais corpos d' água da bacia, totalizam uma rede de drenagem de 3.471 km<sup>2</sup> de extensão. Seus principais afluentes são, no sentido das cabeceiras para a foz: o rio Rolante, o rio da Ilha e o rio Paranhana, todos pela margem direita e com nascentes na região serrana (municípios de São Francisco de Paula e Canela). Na porção inferior recebe, ainda, contribuições dos arroios Sapiranga, Pampa, Luis Rau, Portão, João Corrêa, Sapucaia entre outros. O rio dos Sinos apresenta três cursos distintos: o trecho superior – primeiros 25 km, entre as cotas 600 e 60m onde o fluxo do rio é bastante rápido e encachoeirado; o trecho médio – com 125 km entre as cotas 60 e 5m onde o rio se desloca normalmente; e o trecho inferior – com 50 km e cuja declividade é praticamente nula, apresentando um escoamento muito lento.

Um fator que favorece a situação da bacia do rio dos Sinos é a contribuição de água proveniente da bacia do rio Caí, através do Sistema Hidrelétrico do Salto, que com um túnel desvia entre 5 a 9 m<sup>3</sup>/s para dentro do rio Paranhana. Cerca de 10% da vazão normal do rio dos Sinos em sua foz não é gerada na própria bacia, mas proveniente da transposição do rio Caí.

O clima da região é subtropical com médias anuais em torno de 20°C e cerca de 1.600 mm de chuva por ano, bem distribuídos nas quatro estações. Da interação do clima com as condições de fertilidade e umidade do solo surgem alguns ecossistemas bem típicos que, primitivamente, dominavam toda a região e hoje se restringem às áreas de preservação legal e aos pontos não explorados pelo homem, Comitesinos (2010).

No alto da serra, nas regiões de maior altitude, encontramos os Campos de Cima da Serra onde muitos dos seus formadores nascem em pequenos banhados de altitude. Isto em função da pouca profundidade do solo e do clima frio. Na zona norte e oeste nas encostas da Serra Geral, onde o solo, derivado da rocha basáltica, tem maior fertilidade predomina a mata subtropical muito rica e diversificada tanto em animais como em plantas. Esta vegetação forma a proteção dos solos das cabeceiras dos rios e são fundamentais para protegê-los das chuvas, bem como recolhê-las e facilitar a sua entrada no solo rumo às vertentes primeiras do vale.

Já nas partes alagadiças, junto ao curso médio e inferior, há um ecossistema em que a fertilidade natural trazida pelas cheias e a presença constante da umidade no solo formam uma paisagem típica: os banhados. Eles funcionam como um filtro biológico e local de reprodução de peixes e outros animais do rio. Além disso, atuam como reguladores da vazão, absorvendo o excesso das cheias e liberando água nos períodos de seca. Ainda contribuem em muito para a limpeza natural da poluição e como fonte de renovação da vida. São habitados por muitos animais e plantas típicas de ambientes alagados, em especial aves, anfíbios e vegetação flutuante. São fundamentais para a saúde do rio, Comitesinos (2010).

Junto às margens do rio e seus afluentes existe a mata de galeria, ambiente que recebe este nome por formar um corredor no meio do qual corre o rio. Possuem uma parte ocupada por cidades, lavoura e pecuária, existindo poucos lugares intactos.

O rio e seus afluentes, na parte mais alta, se caracteriza por ser um rio de corredeiras e águas translúcidas muito oxigenadas, porém de pequena largura. Já na parte média e inferior ele percorre lentamente uma região mais plana. É um trecho de menos oxigênio dissolvido onde às águas são mais turvas devido aos sedimentos em suspensão trazidos pelas chuvas. Isto faz com que, de um modo geral, as espécies aquáticas mais exigentes em termos de oxigenação predominem nas partes altas do rio, enquanto as mais adaptadas a uma menor oxigenação vivam nas partes mais baixas. Obviamente que esta distribuição sofre muitas influências dos efeitos da poluição e de outras interferências humanas, (Comitesinos, 2010).

## **3.2. Materiais**

Os materiais de apoio que foram utilizados para a realização dos estudos e efetivação dos objetivos propostos, compreendem:

- A. Imagens multiespectrais do sensor do TM (Thematic Mapper), satélite Landsat 5, nas seis bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5 e 7, sendo que, esses produtos apresentam resolução espacial de 30 metros, referentes às órbitas e pontos 221-80/81, tomados em 13/04/2009, 220-80/81, 28/09/2009, 221-80/81, tomadas em

08/09/1993 e 220-80/81, tomadas em 10/04/1993, disponíveis no site do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE, 2010) de forma gratuita e em série histórica.

B. Softwares computacionais: ArcGIS 9.3; Envi 4.3 e GPSMAP 76 – *versatile navigator* (Global Positioning System).

### **3.3 Processamento Digital - PDI**

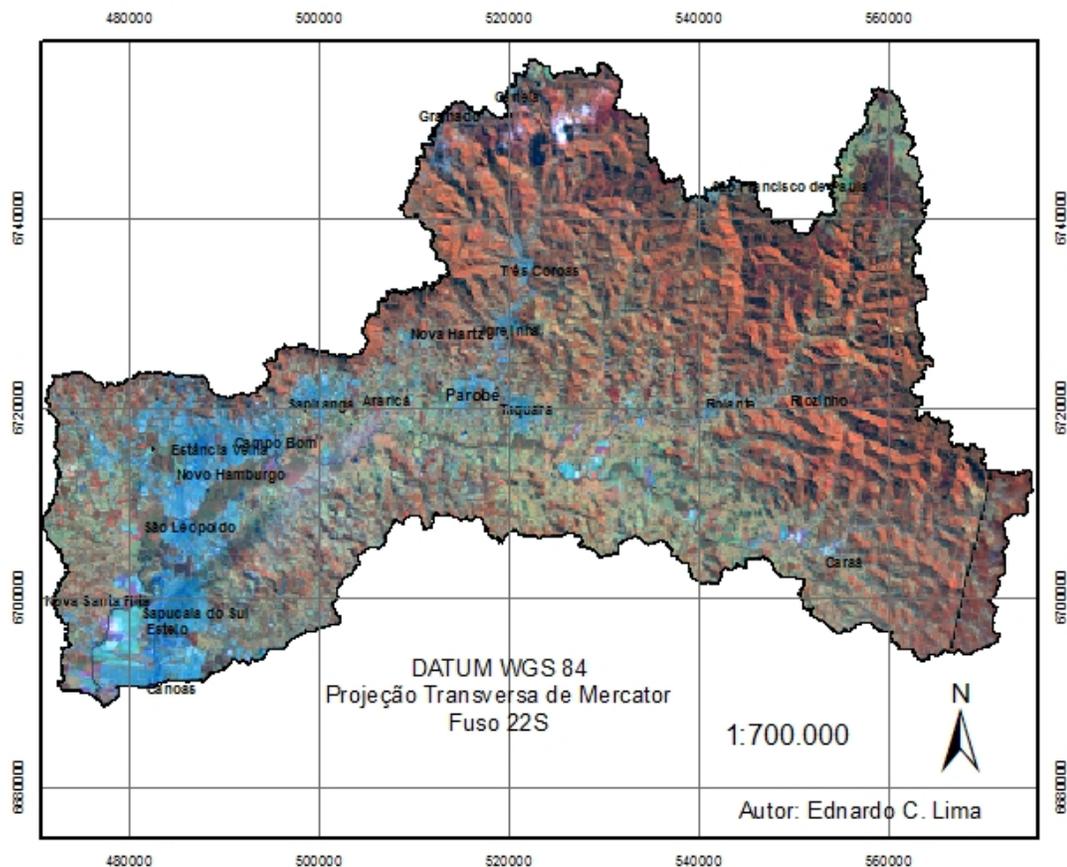
#### **3.3.1 Seleção de Imagens Orbitais**

Para a realização desse trabalho inicialmente procedeu-se à seleção de imagens orbitais, disponíveis no sítio eletrônico do INPE, em série histórica e pré-georreferenciadas. Os requisitos para a seleção foram: a) imagens orbitais de satélites que possuíssem séries históricas disponíveis; b) imagens orbitais de pontos sequenciais diferentes para uma determinada órbita com mesma data de cena; c) pouca ou nenhuma cobertura de nuvens na área de estudo (inferior a 50%); d) baixo índice pluviométrico nas datas das cenas selecionadas. Para tanto utilizou os dados disponíveis no sítio eletrônico da ANA-Agência Nacional de Águas, Sistema de Monitoramento Hidrológico, link de série histórica.

#### **3.3.2 Composição colorida e realce**

As imagens orbitais do satélite Landsat, sensor TM, que atenderam aos pré-requisitos citados no item anterior foram processadas digitalmente no software ArcGis 9.3 e Envi 4.3, onde inicialmente efetuou-se composição multiespectral das bandas 1 (0,45 $\mu$ m – 0,52 $\mu$ m, região espectral do azul), 2 (0,52 $\mu$ m – 0,60 $\mu$ m, verde), 3 (0,63 $\mu$ m – 0,69 $\mu$ m, vermelho), 4 (0,76 $\mu$ m – 0,90 $\mu$ m, infravermelho próximo), 5 (1,55 $\mu$ m – 1, 75 $\mu$ m, infravermelho de ondas curtas) e 7 (2,08 $\mu$ m – 2,35 $\mu$ m, infravermelho médio) para cada imagem orbital.

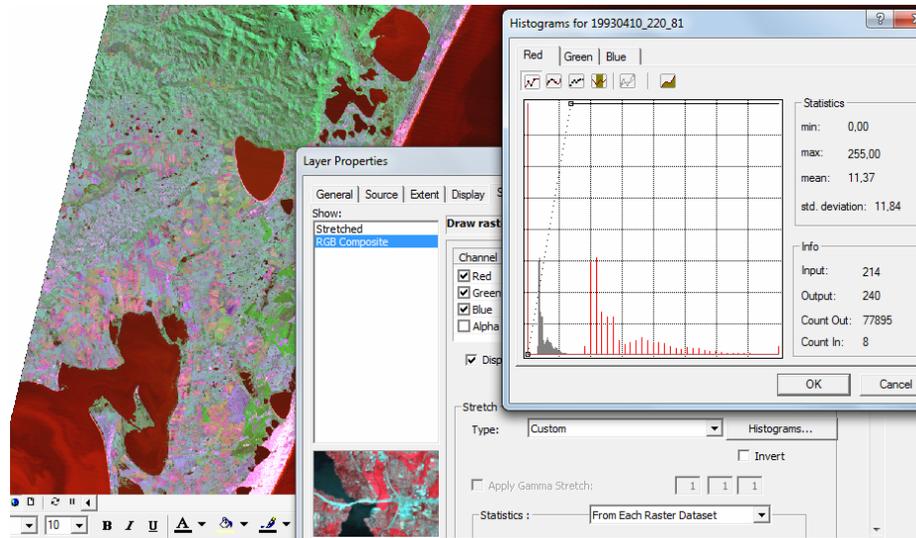
Para a interpretação visual das Imagens orbitais Landsat 5, TM multiespectrais e posterior coleta de amostras de treinamento, efetuou-se processamento de composição colorida R4G5B3.



**Figura 6 – Mosaico de imagens orbitais Landsat 5 TM, na composição colorida (R4G5B3).**

A utilização de composições coloridas é fundamental pelo fato de que o olho humano é capaz de discriminar mais facilmente matiz de cores do que tons de cinza, associar cores as bandas, o que facilita a diferenciação de alvos da cena (ROSA, 2008).

Para realçar os níveis de cinza (NC), procedeu-se também com a análise dos histogramas das imagens processadas, afim de aumentar o contraste das mesmas. Os histogramas das imagens possibilitam visualizar de forma gráfica a frequência de ocorrência dos pixels no intervalo discreto dos (NC - 0 a 255), que não apresentam nas imagens brutas boa distribuição. Dessa forma, no software ArGis 9.3, os níveis de cinza originais de cada cena, foram realçados de forma manual (função *custom*), obtendo-se maior distribuição dos pixels de cada imagem e por consequência melhor contraste, facilitando assim a visualização dos alvos desejados das cenas. A figura 7, demonstra o histogramas da imagem acima depois da ampliação do contraste.



**Figura 7 – Histograma da composição colorida (R3G4B5), de imagem Landsat 5, órbita 220, ponto 81, de parte da área de drenagem da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, obtida em 10/04/1993, com ampliação do contraste.**

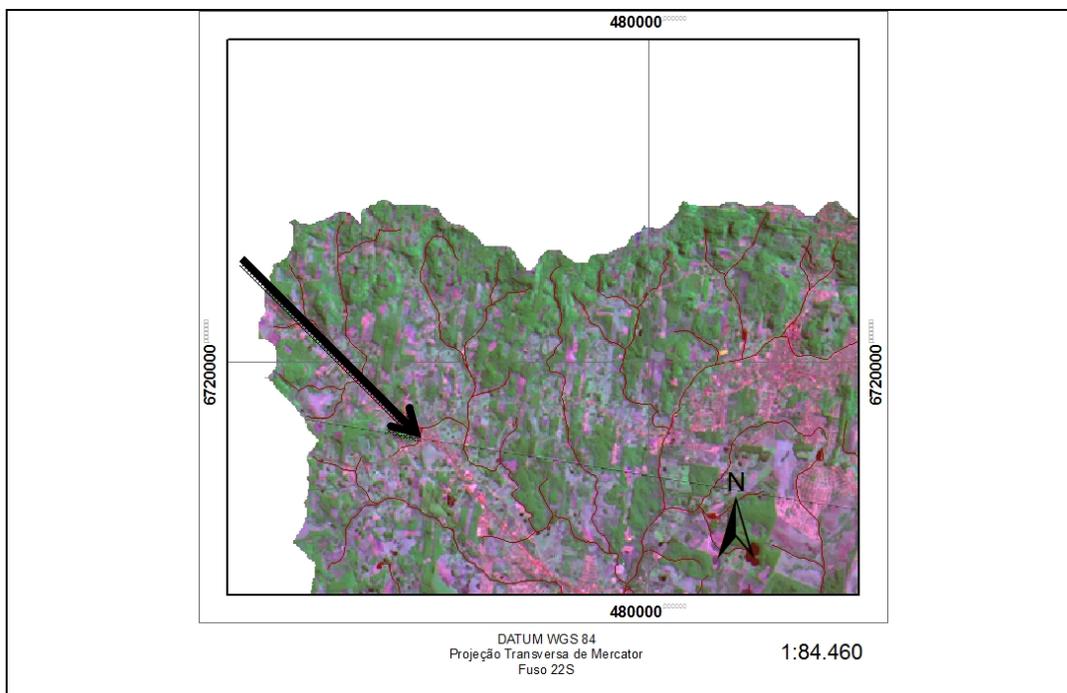
### 3.3.3 Composição de Mosaicos

Após a fase de pré-processamento procedeu-se com a formação de mosaicos no software Envi 4.3., devido à abrangência da área de drenagem da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, em órbitas e pontos diferentes. A formação de mosaicos seguiu a ordem da órbita, com as seguintes imagens orbitais Landsat 5 TM: órbita 221, pontos 80/81, data 13/04/2009; e mosaico da órbita 221, pontos 80/81, data 08/09/1993. As imagens da órbita 220 ponto 81 de 10/04/1993 e 13/04/2009, não foram mosaicadas, devido à imprecisão que causaria na classificação digital, unir imagens de órbitas diferentes e datas diferentes em mosaicos. Essa imprecisão se explica pelos seguintes fatos:

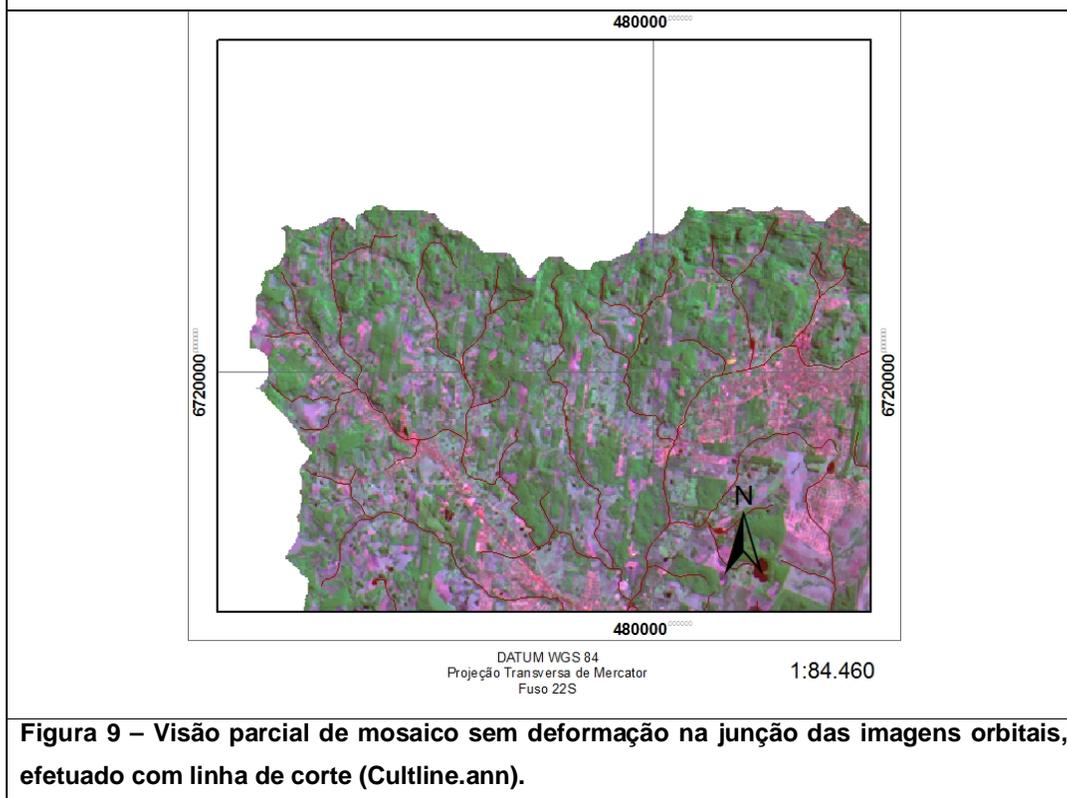
- O sistema de recobrimento da superfície terrestre a cada 16 dias, determina o padrão segundo o qual, a faixa adjacente à 1ª órbita do dia será recoberta pelo satélite apenas na órbita do oitavo dia;
- Diferença de cobertura de nuvens, umidade na atmosfera e no solo, ângulo solar e orientação das sombras e reflectância dos alvos na superfície.

Para evitar mosaicos com faixas nas áreas de junção das imagens orbitais, alterando posterior classificação digital de classes e a interpretação de uso e ocupação do solo na área de estudo, utilizou-se a técnica de formação de mosaicos com linha de corte (CULTLINE.ANN), eliminando quatro pixels de linha na borda das imagens que ficam

sobrepostas da formação do mosaico, no software Env 4.3. As figuras 8 e 9, demonstram a diferença entre um mosaico efetuado sem linha de corte e outro com.



**Figura 8 – Visão parcial de mosaico com deformação na junção das imagens orbitais, efetuado sem linha de corte (Cultline.ann).**



**Figura 9 – Visão parcial de mosaico sem deformação na junção das imagens orbitais, efetuado com linha de corte (Cultline.ann).**

Para o conjunto de mosaicos, imagens orbitais e demais *shapes*, foi estabelecido como padrão os seguintes parâmetros de projeção: UTM (Transversa Universal de Mercator), Datum WGS 84, fuso 22S. O georreferenciamento das imagens de 2009, fora efetuado obtendo-se postos de referência no software da Google Earth. Para as imagens de 1993, usou-se como referência pontos das imagens de 2009 já georreferenciadas, a fim de, obter a máxima semelhança espacial entre as imagens de diferentes tomadas de tempo.

Os recortes dos limites da bacia, foram efetuados a partir de um arquivo vetorial em formato *shapefile*, disponibilizado por OLIVEIRA *et. al.* (2009).

### **3.3.4 Classificação digital**

Antecedendo a classificação digital, procedeu-se com a aplicação de filtro passa baixa no conjunto de mosaicos e imagens orbitais, no software Envi 4.3, com o objetivo de reduzir a variabilidade dos níveis digitais da cena, tornando-as mais homogêneas.

Os mosaicos de mesma órbita e as imagens de órbitas foram classificadas digitalmente em seis classes de uso e ocupação do solo, a saber: solo exposto, corpos d'água, vegetação, florestamento, campo ou áreas agrícolas e sombra. As áreas urbanizadas foram classificadas visualmente, as quais geraram arquivos vetoriais do tipo polígonos.

O processo de classificação de imagens orbitais foi dividido em duas etapas: o treinamento e a classificação digital. Na fase de treinamento, procedeu-se com a seleção de amostras de pixels da imagem de modo a fornecer ao software ArcGis 9.3, os critérios necessários para a identificação das classes desejadas. Para a classificação digital do mosaico de 13/04/2009 foram geradas 116 amostras de treinamento, distribuídas uniformemente pela área da bacia, entre 10 a 30 amostras por classe; para o mosaico de 08/09/1993, 200 amostras; para as imagens orbitais complementares da área da bacia foram geradas 120 amostras para a cena (datas 10/04/1993 e 28/08/2009), em média 10 amostras para cada classe, distribuídas uniformemente pela imagem. Como resultado do treinamento produziu-se um conjunto de assinaturas espectrais que representam o critério estatístico para as classes propostas e que servirá de base para a aplicação de uma regra de divisão a partir da qual as imagens serão efetivamente classificadas.

Para esse trabalho foi utilizada a classificação digital supervisionada, a qual exige um conhecimento prévio da área de estudo, de forma que o pesquisador possa atuar no

sentido de orientar a aquisição das amostras, a partir de diversas fontes de informação, como medidas de campo, análise de imagens orbitais diversas, experiência pessoal, entre outras, DORNELES (2003).

O classificador utilizado foi o de Máxima Verossimilhança, este algoritmo estatístico (MaxVer), consiste em classificar a imagem ponto a ponto, usando o critério da máxima verossimilhança a partir de classes fornecidas pelo usuário, o qual segue o modelo de distribuição gaussiana (calcula as funções de densidade de probabilidade de ocorrência de cada classe (um ponto  $Z$  será pertencente a determinada classe se  $pr(Z) > \text{limiar}$ ), onde o limiar é um valor real positivo abaixo de qual um ponto não é considerado como pertencente a uma classe), para o limite de decisão entre classes temáticas. Esse algoritmo baseia-se no cálculo da distância estatística entre cada pixel e na média dos níveis de cinza das classes de amostras previamente obtidas na fase de treinamento E. FERREIRA *et al.* (2001).

Na classificação digital procedeu-se com os seguintes passos:

- ✓ determinação do número de classes e tipos de classes de uso e ocupação do solo adequadas a uma análise espaço temporal posterior;
- ✓ escolha das amostras de pixels (em torno de 10 amostras com entorno de 10 pixels de cada classe);
- ✓ rotulação de cada região de pixels como pertencente a uma classe;
- ✓ avaliação dos resultados a partir de comparação com as imagens de origem e dados obtidos em campo.

### **3.3.5 Coleta de dados em campo**

A coleta de dados em campo objetivou comprovar a classificação digital, coletar dados em pontos da bacia hidrográfica que apresentassem grande extensão de uso e ocupação do solo dentro das classes pré-definidas e apresentassem indícios de alteração dentro do período analisado neste estudo. Outro fator determinante para a execução da saída a campo, foi a coleta de imagens nos pontos analisados, a fim de, compreender melhor os diversos usos do solo na área da bacia. Para tanto, procedeu-se com os seguintes passos:

- Seleção de pontos na área da bacia hidrográfica, a partir das imagens orbitais e as classificações;
- Coleta de coordenadas desses pontos e elaboração de roteiro;

- Localização dos locais pré-definidos e coleta de dados (coordenadas UTM, altitude, descrição da área circundante aos pontos e imagens digitais dos pontos);
- Análise comparativa entre a classificação e os dados de campo.

### **3.4 Mapeamento do uso e ocupação do solo**

A partir das imagens classificadas, efetuou-se transformação dos *layers* de classificação em formato *grid* para o formato vetorial do tipo poligonal no software Arcgis 9.3, com o objetivo de obter a área dos polígonos resultantes para cada classe.

Posteriormente, procedeu-se com a união dos arquivos vetorizados, na função gerenciamento de dados, ferramenta “*merger*”, software Arcgis 9.3. Procedimento executado, uma vez que, os mosaicos de 08/09/1993 e 13/04/2009 não abrangem toda a área da bacia e foram complementados por imagens da órbita subseqüentes, conforme citado na fase de seleção de imagens orbitais.

A junção dos arquivos vetorizados permitiu a formação de um mapa temático de uso e ocupação do solo para toda a área da bacia e também a quantificação das áreas dos polígonos para cada classe, resultante da classificação digital. Esses dados geraram tabelas com informações quantitativas das áreas e percentuais das classes obtidas com o processo de classificação digital.

Esses dados foram exportados das tabelas de atributos dos *layers* e gráficos do software Arcgis 9.3 para o Excel, a fim de efetuar formatação dos dados resultantes e configuração das tabelas finais. Os mapas de uso e ocupação do solo referentes às datas já citadas, foram finalizados e exportados no formato *jpg*, com a inserção de coordenadas UTM, indicação de DATUM, escala, legenda e orientação.

#### **3.4.1 Análise da exatidão do mapeamento**

Para a análise da exatidão do mapeamento uso e ocupação do solo da bacia do rio dos Sinos, procedeu-se com a coleta de dados em campo (amostras), no período de 15 e 16 de Abril de 2011. A atividade de campo foi realizada nos municípios de Rolante, Riozinho, São Francisco de Paula e Três Coroas, onde foram coletadas 35 amostras (observações e coordenadas) de uso e ocupação do solo.

Essas amostras foram coletadas, obedecendo os critérios já citados na metodologia de coleta de dados em campo. As amostras coletadas serão cruzadas com os resultados da classificação digital da imagem orbital Landsat 5 sensor TM de 13/04/2009. O cruzamento será efetuado a partir das observações de campo de cinco amostras de cada município e suas respectivas coordenadas, com os resultados obtidos com a classificação digital, onde a mesma será recortada no software Arcgis 9.3, em retângulos que cercam o perímetro das amostras, em escala de 1:2.000, revelando assim a exatidão dos métodos de classificação empregados nesse trabalho.

### 3.5 Análise espaço-temporal

Para a análise das variações do uso e ocupação do solo na área da bacia do rio dos Sinos no período de 08/09/1993 e 13/04/2009, procedeu-se com os seguintes passos: a) organização dos totais das áreas classificadas dos períodos de 08/09/1993 e 13/04/2009 e seus respectivos percentuais com relação à área total da bacia em tabela no software Excel do Windows Office. Esse procedimento demonstrou de forma quantitativa a variação das áreas para cada classe; b) análise da variação dos percentuais apurados para cada classe e variação espacial; c) Cruzamento dos *shapes* de vetorização das manchas urbanas dos períodos de 08/09/1993 e 13/04/2009, no software Arcgis 9.3, destacando a área de expansão da mancha no período e análise dos resultados e d) análise específica da classe de vegetação no período de 08/09/1993 e 13/04/2009 e posterior cruzamento dos vetores apurados.

Para a análise das variações da classe de vegetação, inicialmente procedeu-se com a seleção dos atributos específicos da vegetação na tabela de dados, produzida no software Arcgis 9.3 e exportação desses dados para um outro *shapefile*, contendo apenas atributos da classe. Em seguida efetuou-se cruzamentos dos *shapes* na área de ferramenta *analysis tools, overlay erase*, onde a vegetação de 1993, foi suprimida de vegetação de 2009, produzindo um *shapefile* de vegetação que existia apenas na classificação de 1993, ou seja, vegetação suprimida, pois, não existe mais em 2009. Para a produção do *shapefile* de expansão da vegetação suprimiu-se apenas da vegetação de 2009 a vegetação de 1993. Para a produção de um *shapefile* de vegetação preservada, utilizou-se a ferramenta *analysis tools, overlay intersect*, onde obteve-se apenas a vegetação presente para as duas datas de análise.

### **3.6 Mapeamento do uso e ocupação do solo na área de várzea da bacia do rio dos Sinos**

O mapeamento do uso e ocupação na área de várzea foi efetuado a partir do *shapefile* de linhas da área da planície de inundação da bacia do rio dos Sinos, produzido e cedido pelo Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEP SRM, que está produzindo mapeamento geomorfológico da área. O mapeamento geomorfológico da bacia do rio dos Sinos, foi produzido, a partir da interpretação visual e análise da altimetria e declividade dos modelos de elevação digital SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), do banco de dados TOPODATA do INPE. Esse arquivo convertido para o formato *shapefile* de polígono, serviu como base para o recorte do mapeamento de uso e ocupação da bacia do rio dos Sinos no período de 2009, produzido nesse trabalho. Esse recorte revelou o uso e ocupação do solo exclusivo para a área de várzea da bacia e a quantificação da área em km<sup>2</sup> e percentuais sobre a área total, das classes resultantes na nova tabela de atributos, não apresentando as classes de sombras e nuvens presentes na classificação digital de toda a bacia, em função da topografia plana e rebaixada da mesma.

## 4. Resultados e Discussões

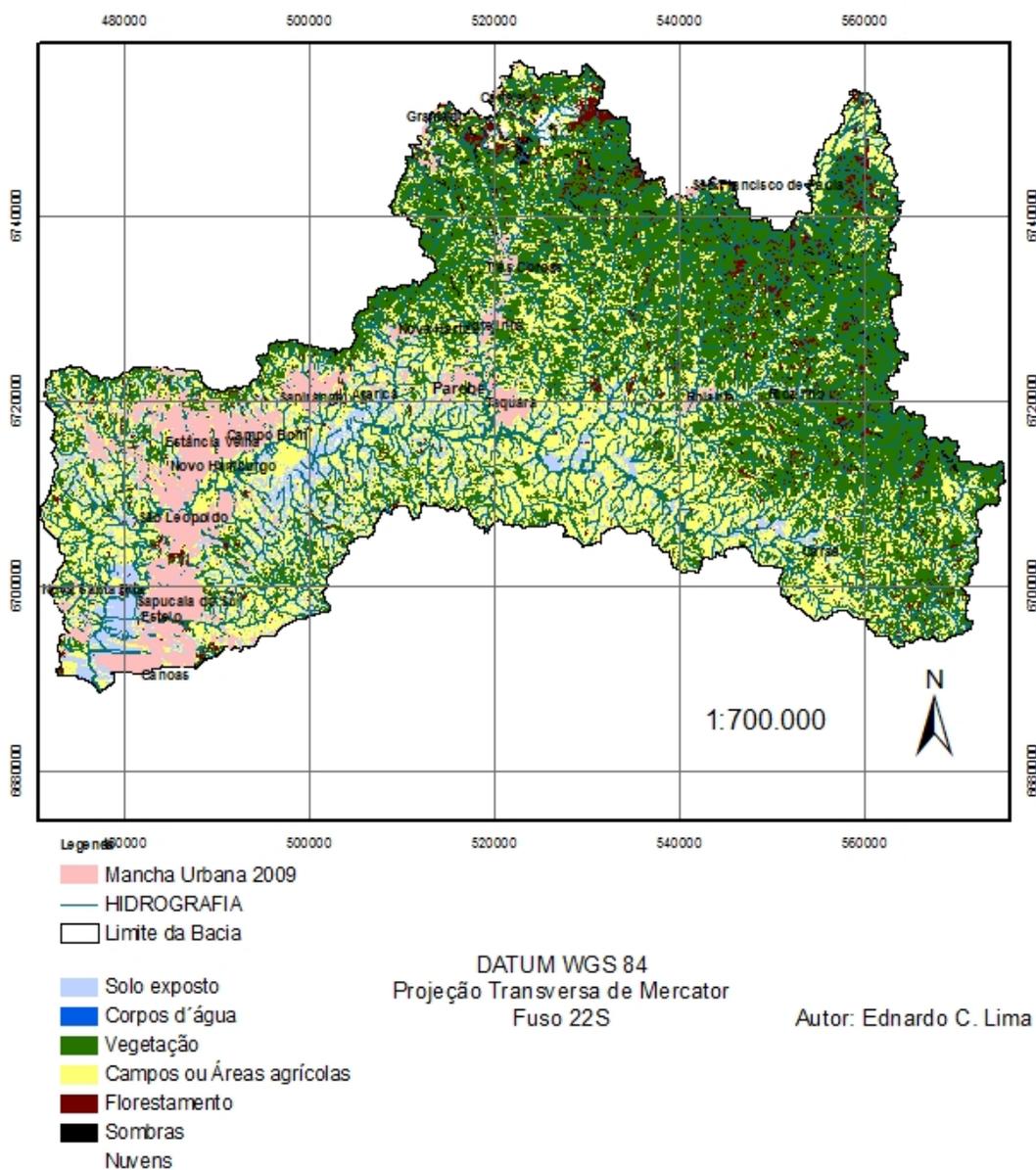
A análise dos resultados está estruturada em quatro partes: 1) mapeamento e análise do uso e ocupação do solo da bacia do rio dos Sinos nos períodos de 08/09/1993 e 13/04/2009 e análise da exatidão do mapeamento; 2) análise das variações de uso e ocupação do solo na área da bacia entre os períodos de 08/09/1993 e 13/04/2009; 3) mapeamento e análise das áreas de expansão urbana e alterações da cobertura vegetal no período de amostragem na área da bacia e 4) mapeamento e análise do uso e ocupação do solo nas áreas de várzea da bacia, na data de 13/04/2009.

### 4.1 Mapeamento do uso e ocupação do solo

O resultado do mapeamento por classificação digital do uso e ocupação do solo da bacia rio dos Sinos, a partir de imagens Landsat 5, sensor TM, órbitas e pontos 221-80/81, tomados em 13/04/2009, 220-81, toma em 28/09/2009, corresponde ao Mapa 2. A Tabela 1 apresenta a área em km<sup>2</sup> e os percentuais das sete classes do mapeamento e da mancha urbana vetorizada por interpretação visual.

**Tabela 1 - Quantificação das classes de uso e ocupação do solo, bacia dos Sinos/RS - 2009.**

| <b>Classes</b>                | <b>Área (km<sup>2</sup>)</b> | <b>%</b>   |
|-------------------------------|------------------------------|------------|
| <b>Solo Exposto</b>           | 429,100                      | 11,69      |
| <b>Corpos d'Água</b>          | 7,765                        | 0,21       |
| <b>Vegetação</b>              | 1.385,691                    | 37,75      |
| <b>Campo ou Área Agrícola</b> | 1.374,041                    | 37,44      |
| <b>Florestamentos</b>         | 161,198                      | 4,39       |
| <b>Sombras</b>                | 27,983                       | 0,76       |
| <b>Nuvens</b>                 | 21,611                       | 0,59       |
| <b>Mancha Urbana</b>          | 262,858                      | 7,16       |
| <b>Totais</b>                 | <b>3.670,247</b>             | <b>100</b> |



**Mapa 2 - Uso e Ocupação do Solo, bacia dos Sinos - 2009.**

A análise dos resultados apresentados na Tabela 1 revela maior área para as classes de cobertura vegetal (37,75%) e campo ou área agrícola (37,44%), totalizando 75,19% do uso e ocupação da bacia.

Uma análise mais específica, porém, levando em conta a distribuição espacial dessas duas classes, revela a concentração de áreas de vegetação no alto curso da bacia e nas encostas dos morros com maior declividade. A classe de campo ou área agrícola se

concentra nos cursos médio e baixo da bacia, principalmente nas áreas de várzea dos rios e nas depressões.

Um dos fatos que justificam o predomínio de áreas de vegetação no alto curso da bacia é a topografia acidentada, que apresenta vales escarpados, o que dificulta, em parte, as práticas agropecuárias. Já no curso médio e baixo da bacia, a topografia mais plana, facilitou o desenvolvimento da atividade agropecuária e a formação de sítios urbanos.

A classe de florestamento totalizou 4,39% da cobertura da área da bacia. Dois aspectos devem ser observados com relação a esse resultado: a impossibilidade de diferenciar através da classificação digital, pequenas áreas de florestamento em encostas sombreadas, com orientação Sul, Sudeste e Sudoeste; e encostas com cobertura de vegetação mista (florestas secundárias e florestamento esparso). Esses fatos dificultam uma quantificação exata das classes de vegetação nativa e florestamento, com o uso de classificadores digitais. A análise em campo indica uma área maior da classe de florestamento, com relação à apresentada nesse estudo, devido à presença de pequenas áreas junto a vegetação nativa, de difícil diferenciação no processo de classificação digital empregada nesse estudo. A Figura 10 mostra uma pequena área de florestamento junto a uma encosta com vegetação nativa, no município de Riozinho.



**Figura 10 – Pequena área de florestamento em encosta de cobertura vegetal nativa, município de Riozinho/RS. Foto obtida em 16/04/2011.**

As classes de mancha urbana e solo exposto ocupam respectivamente, 7,16% e 11,69%, totalizando 18,85% da área da bacia, o que representa considerável alteração ambiental, que muitas vezes se revertem em riscos ambientais, como enchentes e movimentos de massas, seja pela ocupação urbana irregular seja pelo desmatamento. Essas duas classes apresentam maior concentração espacial nos cursos médio e baixo da bacia, onde estão localizadas as cidades de São Leopoldo, Novo Hamburgo, Três Coroas, entre outras.

A classe de corpos d'água, totaliza 0,21% da área da bacia, e representa a área dos açudes e parcialmente a rede hidrográfica da bacia, uma vez que a cobertura da mata ciliar nos cursos d'água, inviabiliza a classificação e quantificação precisa dessa classe. Dessa forma, o arquivo do tipo *shapefile linha*, apenas representa a rede hidrográfica da bacia.

A classe de sombra representou um percentual de 0,76% da área da bacia, podendo ser incluída sua área nas classes de vegetação ou florestamento, pois as sombras ocupam principalmente encostas íngremes de orientação Sul, Sudeste e Sudoeste, e que estão cobertas por vegetação nativa ou florestamento como demonstra a Figura 11.



**Figura 11 – Encosta sombreada com cobertura vegetal nativa, município de São Francisco de Paula.  
Foto obtida em 16/04/2011.**

Devido à cobertura parcial de nuvens, foi necessário a criação dessa classe, o que interferiu na classificação nas áreas próximas aos municípios de Gramado, Canela e São

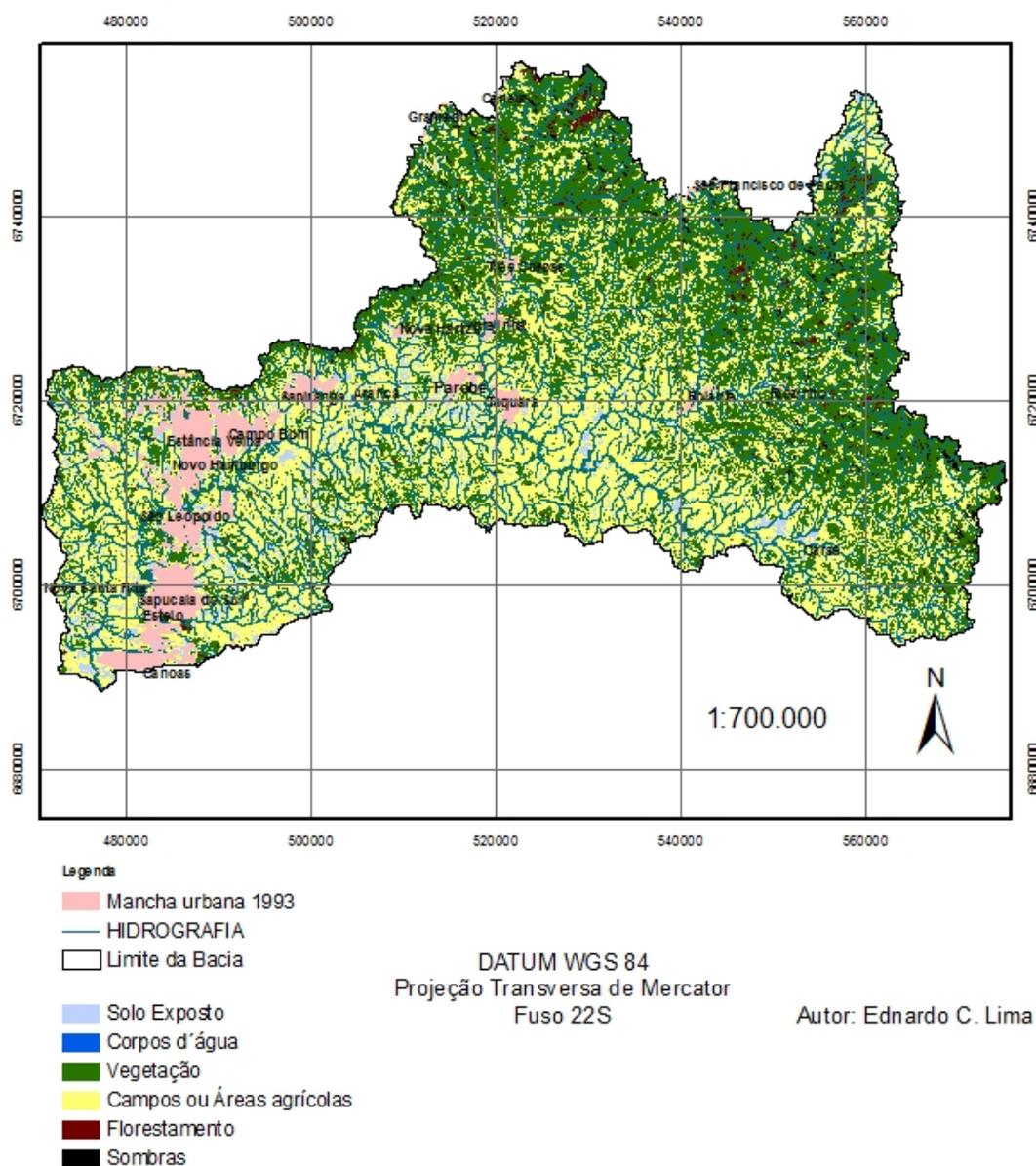
Francisco de Paula. Nessa porção da bacia ocorre o predomínio das classes de florestamento, vegetação e campo ou área agrícola.

O resultado da classificação digital do uso e ocupação do solo da bacia dos Sinos, a partir de imagens orbitais Landsat 5, sensor TM, órbitas e pontos 221-80/81, tomados em 08/09/1993 e 220-81, toma em 10/04/1993, é apresentado no Mapa 3. A Tabela 2, apresenta a área em km<sup>2</sup> e os percentuais das seis classes da classificação digital e da mancha urbana vetorizada por interpretação visual.

A análise do uso e ocupação do solo da bacia do rio dos Sinos para a data de 08/09/1993, será efetuada de forma comparativa observando-se as alterações sofridas pelas classes ao longo do período de amostragem já citado.

**Tabela 2 - Quantificação das classes de uso e ocupação do solo, bacia dos Sinos - 1993.**

| <b>Classes</b>            | <b>Área (km<sup>2</sup>)</b> | <b>%</b>   |
|---------------------------|------------------------------|------------|
| Solo Exposto              | 258,441                      | 7,33       |
| Corpos d'Água             | 7,838                        | 0,22       |
| Vegetação                 | 1.315,533                    | 37,20      |
| Campos ou Áreas Agrícolas | 1.674,141                    | 47,46      |
| Florestamentos            | 48,641                       | 1,38       |
| Sombras                   | 38,421                       | 1,09       |
| Mancha Urbana             | 184,241                      | 5,22       |
| <b>Totais</b>             | <b>3.527,256</b>             | <b>100</b> |

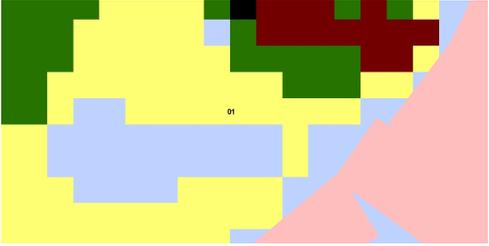
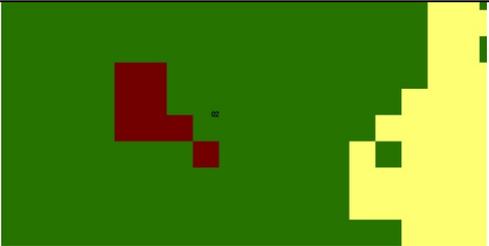
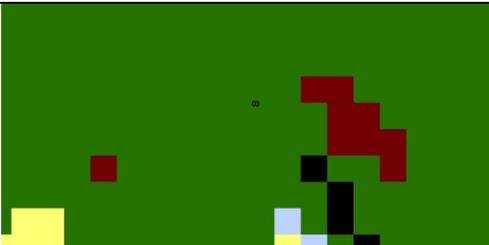
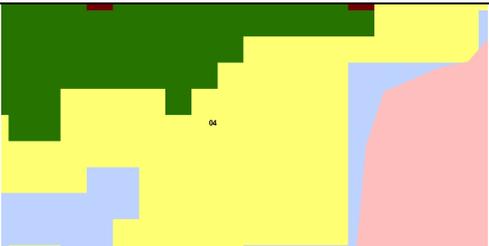
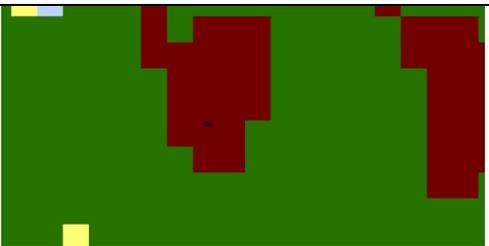


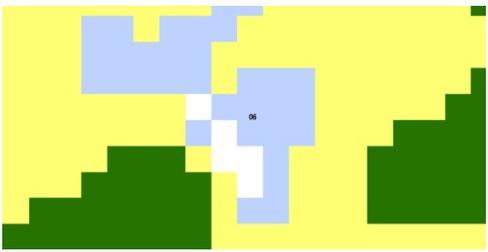
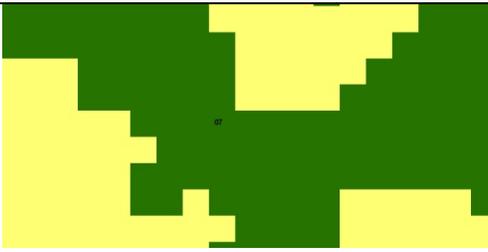
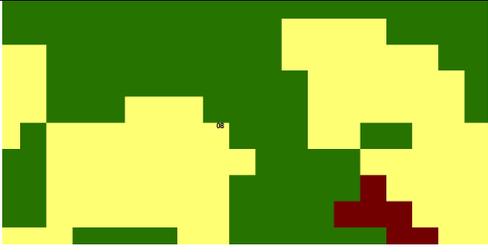
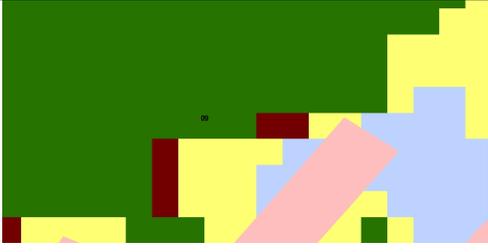
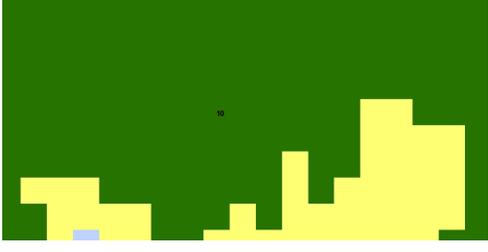
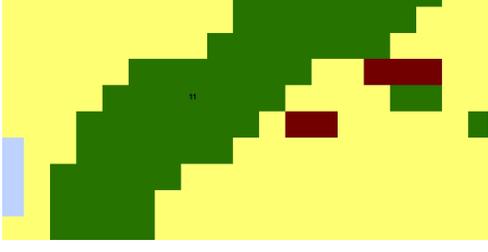
**Mapa 3 - Uso e Ocupação do Solo, bacia dos Sinos - 1993.**

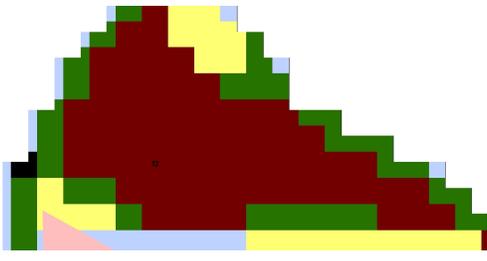
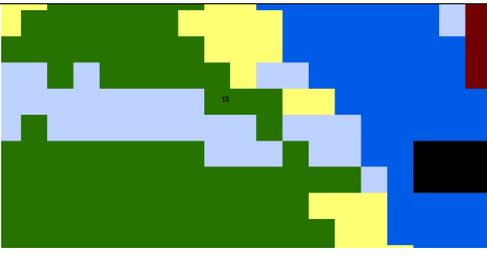
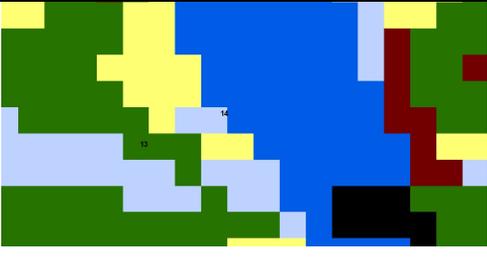
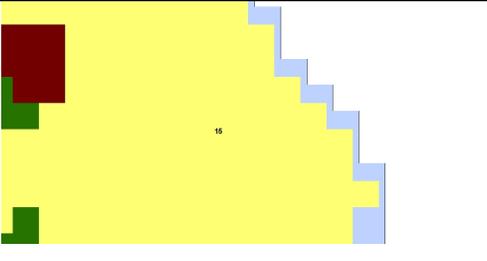
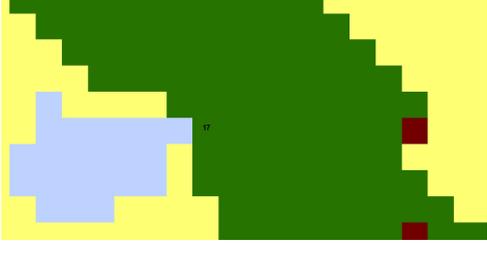
#### 4.1.1 Análise da exatidão do mapeamento

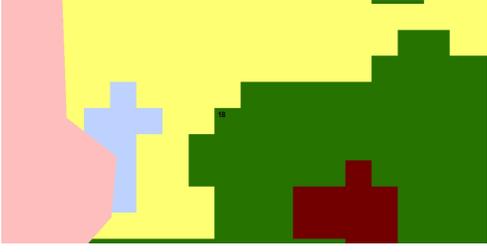
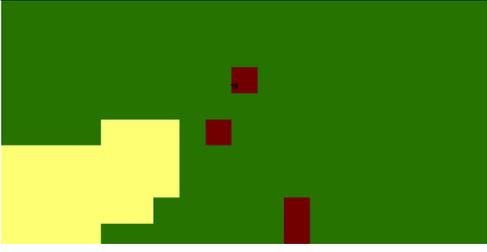
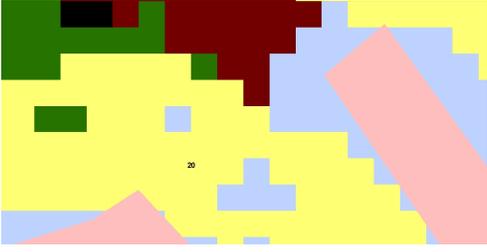
A análise da exatidão do mapeamento do uso e ocupação do solo na bacia do rio dos Sinos/RS foi efetuada a partir da coleta de amostras obtidas em campo. Os pontos amostrados foram sobrepostos e comparados com o resultado da classificação digital da imagem orbital Landsat 5 TM de 13/04/2009. Foram feitos recortes da imagem na escala de 1:2.000, conforme a Tabela 3, para facilitar a análise.

Tabela 3 - Análise da exatidão do mapeamento do uso e ocupação, bacia dos Sinos/RS – 2009.

| Amostra | Município | Coordenadas            | Observações de campo  | Classificação digital (2009)   |
|---------|-----------|------------------------|---|--|
| 01      | Rolante   | 540028 O<br>6718689 S  | Área de campo à beira de uma avenida.   |    |
| 02      | Rolante   | 5442720 O<br>6721607 S | Faixa de florestamento.   |    |
| 03      | Rolante   | 546649 O<br>6725160 S  | Vegetação próxima a florestamento em encosta de morro, área mista com orientação SE, possível área de sombra. |   |
| 04      | Rolante   | 540431 O<br>6720207 S  | Campo cercado de vegetação, próximo a mancha urbana.  |  |
| 05      | Rolante   | 547985 O<br>6728441 S  | Área de Florestamento.  |  |

|    |                              |                       |   |  |
|----|------------------------------|-----------------------|---|--|
| 06 | Riozinho                     | 554230 O<br>6718756 S | Campo com<br>pequena<br>ocupação de<br>casas.                                 |    |
| 07 | Riozinho                     | 554830 O<br>6718237 S | Florestamento<br>em encosta de<br>morro.                                      |    |
| 08 | Riozinho                     | 556226 O<br>6717151 S | Pequena área<br>aberta de campo<br>próxima à<br>encosta com<br>florestamento. |    |
| 09 | Riozinho                     | 552038 O<br>6721231 S | Vegetação<br>cercada de<br>ocupação<br>urbana.                                |   |
| 10 | Riozinho                     | 553550 O<br>6720889 S | Encosta mista<br>(vegetação e<br>florestamento),<br>próxima a casas.          |  |
| 11 | São<br>Francisco<br>de Paula | 542005 O<br>6741911 S | Vegetação em<br>vale, Mata<br>Atlântica.                                      |  |

|    |                        |                       |  |  |
|----|------------------------|-----------------------|--|--|
| 12 | São Francisco de Paula | 541403 O<br>6743699 S | Florestamento próximo à área urbanizada.                           |    |
| 13 | São Francisco de Paula | 541274 O<br>6741547 S | Vegetação, área de preservação ambiental próxima a lago.           |    |
| 14 | São Francisco de Paula | 541365 O<br>6741580 S | Borda de lago.   |    |
| 15 | São Francisco de Paula | 537975 O<br>6742992 S | Área agrícola de pastagens, cercada de campos melhorados.          |   |
| 16 | Três Coroas            | 522330 O<br>6732230 S | Encosta de morro com vegetação próxima a área urbana.              |  |
| 17 | Três Coroas            | 522238 O<br>6732568 S | Encosta de morro com vegetação e pequenos pontos de florestamento. |  |

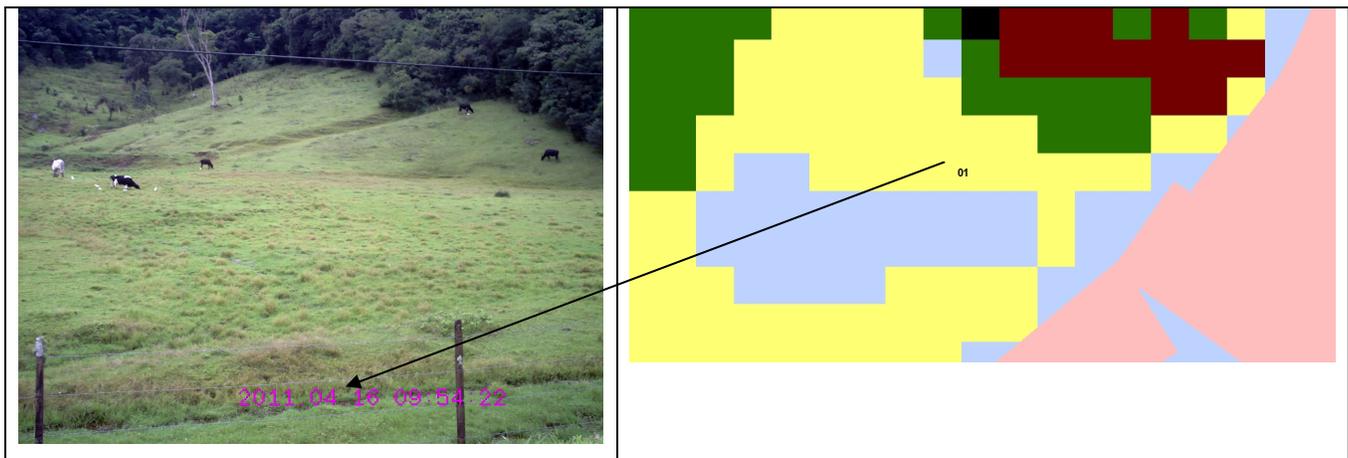
|    |                |                       |   |  |
|----|----------------|-----------------------|---|--|
| 18 | Três<br>Coroas | 522086 O<br>6733969 S | Encosta de morro<br>com vegetação<br>próxima a bairro<br>irregular. |  |
| 19 | Três<br>Coroas | 522782 O<br>6735809 S | Vegetação<br>cercada de<br>florestamento.                           |  |
| 20 | Três<br>Coroas | 520240 O<br>6737757 S | Maciço de<br>florestamento.   |  |

A Tabela 3, apresenta o número da amostra, as coordenadas, as anotações de campo no ponto da coordenada e um recorte da classificação digital na escala 1:2.000 da imagem Landsat 5 sensor TM de 2009. O cruzamento de 35 amostras, revelou quatro pontos discordantes, entre a classificação digital e os pontos coletados em campo, representando 11,43% do total. Todas as discordâncias foram expostas na Tabela 3, porém apenas 21 do total de pontos concordantes de 31 foram expostos. Na amostra 02, a informação coleta em campo (florestamento), foi classificada como vegetação, porém próxima a florestamento; na amostra 06 observada como campo, foi classificada como solo exposto; a amostra 07 revelou florestamento e na classificação, vegetação e a amostra 20 revelou maciço de florestamento e na classificação campo ou área agrícola.

O mapeamento através de classificação digital de imagens orbitais apresentou resultados satisfatórios, mesmo com um número limitado de amostras de áreas de uso e ocupação do solo em atividade de campo, uma vez que, apresentou 88,57% de acerto.

A verificação do mapeamento através da observação e coleta de 35 amostras em campo, apesar de limitado na obtenção da totalidade dos erros da classificação digital das imagens orbitais utilizadas, valida o mapeamento, uma vez que as informações coletadas em campo, quanto aos diversos tipos de uso e ocupação do solo na área da bacia e suas

respectivas coordenadas geográficas, são incontestáveis. O fato de 88,57% das observações de campo apresentar exatidão com a classificação das imagens orbitais de 2009, também valida o método de classificação digital empregado para as imagens de 1993 e a quantificação das áreas apuradas para as classes de uso e ocupação do solo no período e a análise das variações espaço-temporal resultante. A Tabela 4, mostra a aplicação de cruzamento comparativo entre os dados de campo e o mapeamento efetuado.



**Figura 12 - Área de campo as margens de uma avenida, município de Rolante, coordenadas 540028 O e 6718689 S. Foto obtida em 16/04/2011.**

#### **4.2 Análise das variações de uso e ocupação do solo na área da bacia para os período de 08/09/1993 a 13/04/2009**

A análise da variação espaço-temporal do uso e ocupação da bacia do rio dos Sinos/RS, foi efetuado de forma quantitativa, com base na variação dos percentuais das áreas em Km<sup>2</sup>, apuradas para cada classe conforme a Tabela 4 e também de forma qualitativa, a partir da observação da espacialização das classes no período de 08/09/1993 a 13/04/2009.

Tabela 4 – Variação do uso e ocupação do solo, da bacia dos Sinos - 1993/2009

| Classes                 | 1993 (%) | 2009 (%) | Variação 1993 - 2009 (%) |
|-------------------------|----------|----------|--------------------------|
| Solo Exposto            | 7,33     | 11,69    | 4,36                     |
| Corpos d'Água           | 0,22     | 0,21     | -0,01                    |
| Vegetação               | 37,30    | 37,75    | 0,45                     |
| Campo ou Áreas Agrícola | 47,46    | 37,44    | -10,02                   |
| Florestamentos          | 1,38     | 4,39     | 3,01                     |
| Sombras                 | 1,09     | 0,76     | -0,33                    |
| Nuvens                  | -        | 0,59     | 0,59                     |
| Mancha Urbana           | 5,22     | 7,17     | 1,95                     |
| Totais                  | 100,00   | 100,00   |                          |

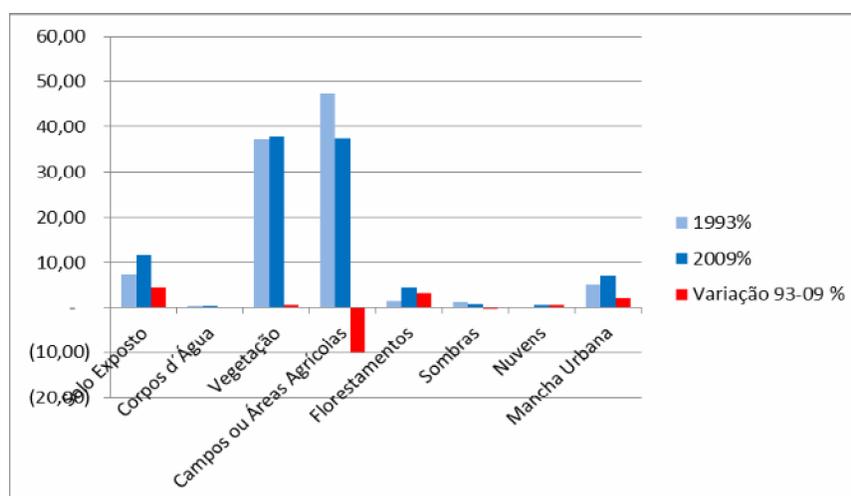


Figura 13 – Variação do uso e ocupação do solo, bacia dos Sinos - 1993/2009.

A classe de campo ou área agrícola apresentou a maior variação de uso e ocupação no período analisado. Essa variação é evidenciada pela retração em 10,02% dessa classe, que recobria 47,46% em 1993 e passou a 37,44% em 2009. Dado que pode ser associado à tendência de crescimento populacional nas cidades e ao envelhecimento e diminuição da população rural, abandono e fragmentação das pequenas propriedades rurais.

As manchas urbanas, vetorizadas visualmente, apresentaram no mesmo período uma expansão de 1,95%, com relação à área total da bacia. SPRICIGO & FILLIPPI, (2006), apresentam nesse sentido que, entre os municípios do CONSINOS, somente

Canoas não apresentou um crescimento populacional superior ao do Estado do Rio Grande do Sul entre 1990 e 2000, que foi de 11,48%. Ressaltando que no ano de 1992 ocorreu à criação do município de Nova Santa Rita, emancipando-se do município de Canoas. Apesar do período citado não corresponder com o da análise aqui apresentada, a tendência de crescimento desses municípios é uma realidade, uma vez que, os municípios foram apontados como atraentes do ponto de vista socioeconômico. Isso nos indica que a região tende a continuar crescendo em termos populacionais, recebendo migrantes de outras regiões do Estado, corroborando com a análise espaço-temporal que revelou expansão da macha urbana.

O percentual de variação espaço-temporal dessa classe pode ser maior do que o apresentado pela classificação, em função da dificuldade enfrentada na vetorização de pequenas áreas urbanizadas de bairros novos, arborizados e afastados dos pequenos centros urbanos, com o uso de imagens orbitais de média resolução, como as Landsat 5 TM (resolução de 30m).

A classe de solo exposto apresentou uma expansão de 4,36%, a segundo maior variação entre as classes. Essa classe pode apresentar variação do percentual de sua área em uma análise espaço-temporal em diferentes épocas do ano, devido às atividades agrícolas, que expõem o solo em fase de preparo e plantio. Pode também ser incluída parcialmente na classe de mancha urbana, uma vez que, na periferia das cidades, incluídas total ou parcialmente na área da bacia, existem diversos loteamentos sendo abertos, aumentando as áreas de solo exposto.

A área ocupada por florestamentos apresentou uma expansão de 3,01%, fato compatível com a tendência da expansão dessas monoculturas no Estado do Rio Grande do Sul. Em função da dificuldade de classificar pequenas áreas de florestamento, fato já exposto estima-se uma expansão maior dessa atividade na área da bacia, principalmente em pequenas propriedades rurais.

A expansão da classe de vegetação de 0,45% contraria o senso comum de tendência de aumento do desmatamento. Uma análise mais atenta das mudanças socioeconômicas, porém, pode revelar o contrário. Nas últimas décadas a população rural de pequenos municípios (abaixo de 10 mil habitantes), vem diminuindo, fato relacionado à estagnação econômica desses municípios, falta de infraestrutura para atrair indústrias e cursos de qualificação profissional, fato que corrobora para a saída de muitos jovens para as cidades de médio porte como, por exemplo, São Leopoldo.

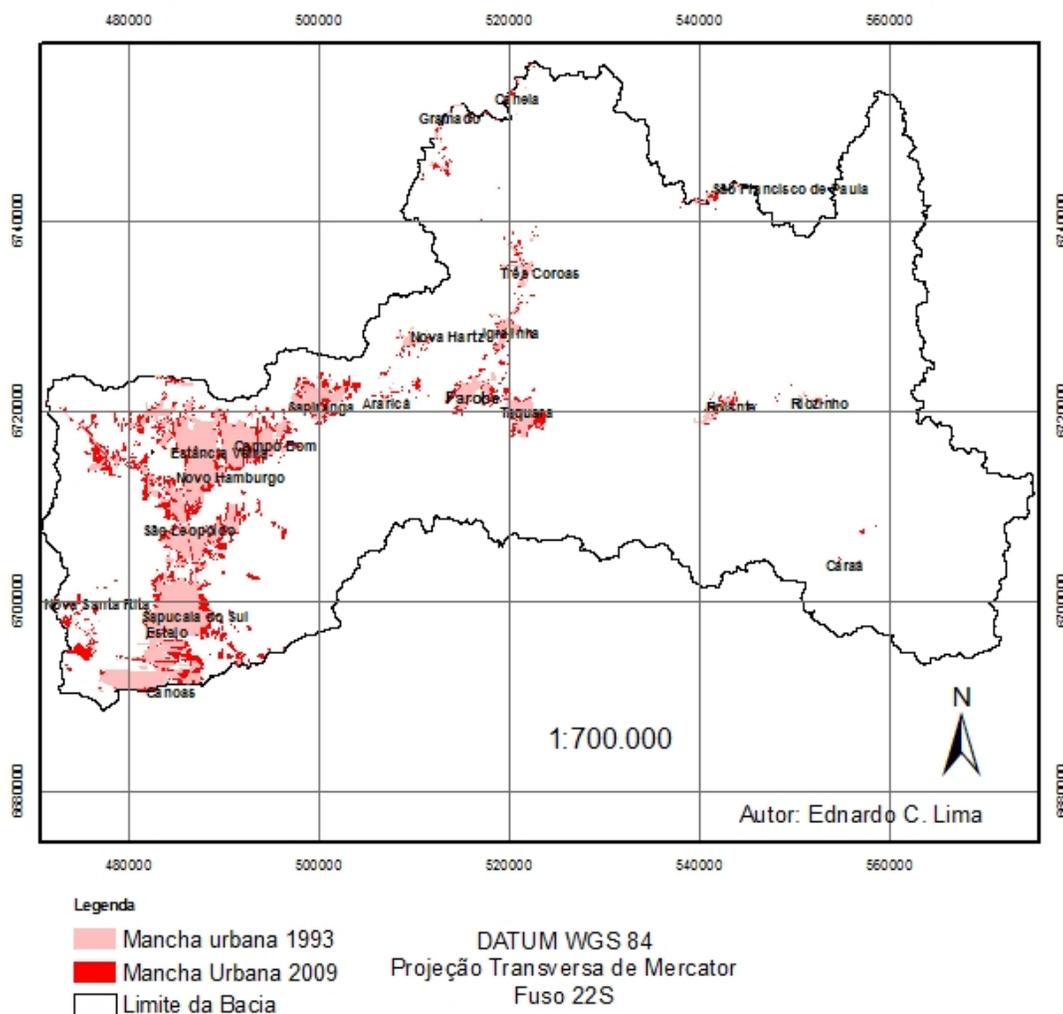
Esses fatores colaboram para o envelhecimento da população rural e o abandono e fragmentação das propriedades rurais, antes, utilizadas para a subsistência familiar e comercialização de pequenos excedentes agropecuários, e atualmente utilizadas como chácaras de lazer. Por isso tudo, existe uma tendência à expansão de áreas com cobertura vegetal, em estado de regeneração, e também de áreas de cultivo com espécies exóticas.

O estudo apresentou resultados significativos, uma vez que, permitiu uma quantificação dos diversos usos do solo na área da bacia em dois períodos distintos, análise quantitativa das variações de uso e ocupação no período de 1993 a 2009.

#### **4.2.1 Mapeamento da expansão da mancha urbana entre o período de 08/09/1993 e 13/04/2009.**

O mapa 4, demonstra a vetorização das manchas urbanas a partir dos mosaicos de imagens Landsat 5 de 1993 e 2009, permitiu visualizar e especializar com maior precisão essa classe de uso e ocupação do solo na área da bacia do rio dos Sinos.

O cruzamento dos mapas vetoriais permitiu espacializar também a expansão da mancha urbana, já quantificada na Tabela 5, que mostra variação positiva das áreas no período, de 5,22% em 1993, para 7,17% em 2009, totalizando assim um acréscimo de 1,95% de mancha urbana sobre a área total da bacia.



**Mapa 4 - Expansão da mancha urbana, bacia do rio dos Sinos, entre 1993-2009.**

**Tabela 5 – Variação da mancha urbana, bacia do rio dos Sinos/RS, 1993/2009.**

| Classe        | 1993 (%) | 2009 (%) | Variação 1993-2009 (%) |
|---------------|----------|----------|------------------------|
| Mancha Urbana | 5,22     | 7,17     | 1,95                   |

A quantificação e mapeamento da mancha urbana no período de estudo confirma através de dados concretos, uma tendência na área da bacia, o crescimento da população urbana expresso na expansão das áreas urbanizadas. Todos os municípios inseridos na área da bacia apresentaram expansão da mancha urbana. Esse crescimento apresenta diversos padrões, hora acompanham o curso das rodovias que cercam as cidades, como novos loteamentos nas áreas periféricas e até em áreas afastadas dos centros urbanos como observado no município de Três Coroas em atividade de campo.

A partir do mapeamento observou-se a espacialização da expansão urbana. Em campo, além disso, observou-se que essa expansão proporcionava um crescimento desordenado dessas áreas urbanas, que se expandem para áreas de encostas de morros com acentuada declividade, áreas de várzea e beira de estradas.

Esse crescimento desordenado ocorre, em virtude da ocupação irregular dessas áreas por parte da população de baixa renda, que se aloca como posseiros. É claro que, essas ocupações irregulares, ocorrem com a conivência das autoridades locais em função da falta de planejamento urbano e muitas vezes descaso com esse tipo de ocupação e expansão das cidades(VEYRET, 2007).

Exemplos dessas ocupações irregulares estão presentes em todos os municípios da área de estudo. A Figura 14 mostra os impactos decorrentes da ocupação de áreas irregulares, com uma casa destruída por deslizamento de encosta de morro, em 2010, no município de Três Coroas, área próxima a RS 115.



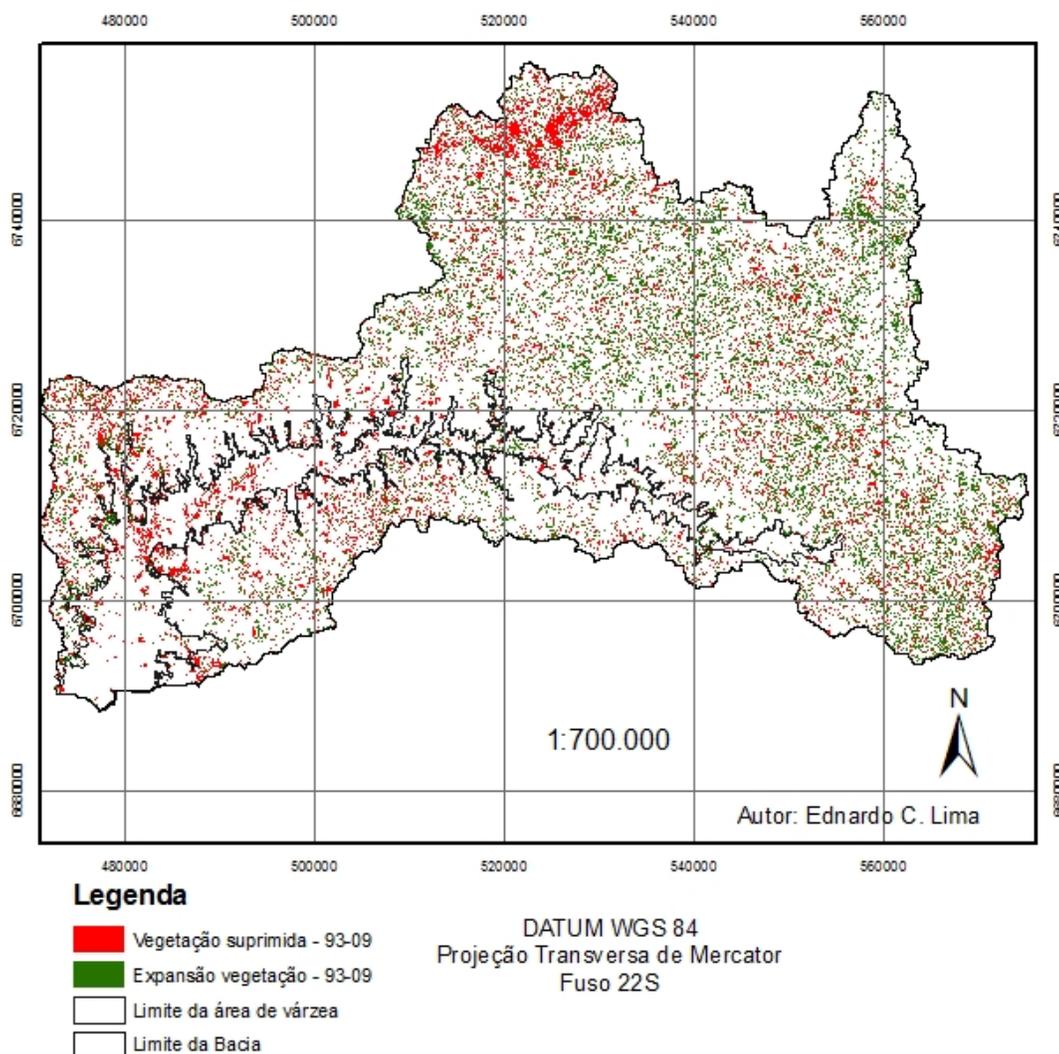
**Figura 14 – Casa destruída por deslizamento de terra, município de Três Coroas/RS.**

**Foto obtida em 17/04/2011.**

#### 4.2.2 Mapeamento das alterações da cobertura vegetal no período de 08/09/1993 e 13/04/2009.

A análise das variações espaço-temporais da vegetação no período de 1993 a 2009, foi efetuado a partir dos resultados das classificações digitais das imagens orbitais Landsat 5 sensor TM para a classe vegetação conforme o capítulo 4.2.

A análise das variações das áreas revela uma expansão de 0,45% na área da bacia para essa classe, o que representa um acréscimo de 70 km<sup>2</sup>. A espacialização da expansão da vegetação está especializada de forma pulverizada pela área da bacia como demonstra o Mapa 5. Apresentando pequena predominância no curso alto da mesma, reafirmando o vetor de migração das atividades agrícolas em pequenas propriedade rurais no interior para as cercanias das cidades junto aos vales.



**Mapa 5 – Expansão e supressão da vegetação, bacia dos Sinos, período de 1993-2009.**

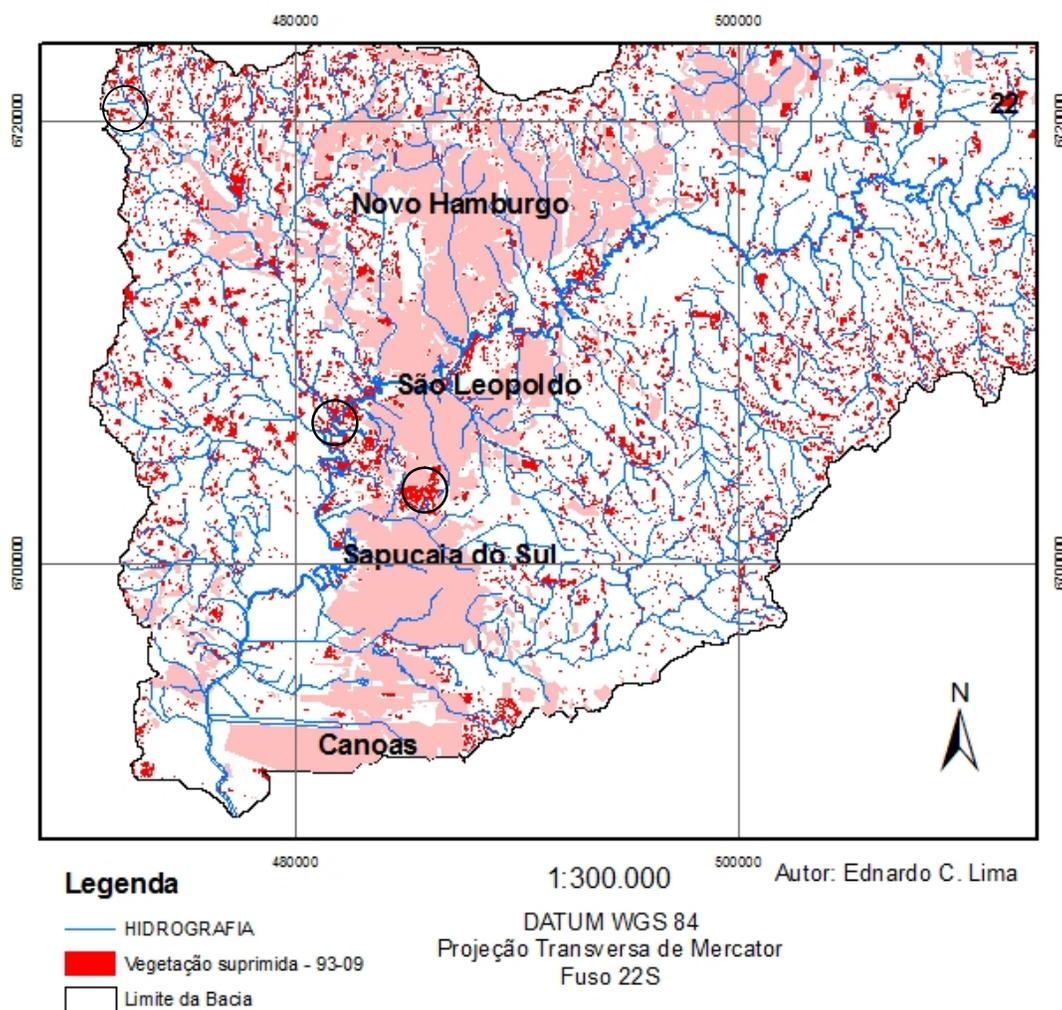
De forma complementar, mas não menos importante, procedeu-se com o mapeamento da vegetação suprimida no mesmo período, também exposta no Mapa 6. A espacialização da vegetação suprimida apresentou aspecto pulverizado, semelhante às áreas de expansão ao longo da área da bacia. Porém, nos município de São Francisco de Paula o mapeamento da vegetação suprimida revelou áreas maiores de desmatamento, fato que pode ser explicado pela grande presença de áreas de florestamento observadas em campo, conforme a Figura 15.



**Figura 15 – Maciço de florestamento, município de São Francisco de Paula.**

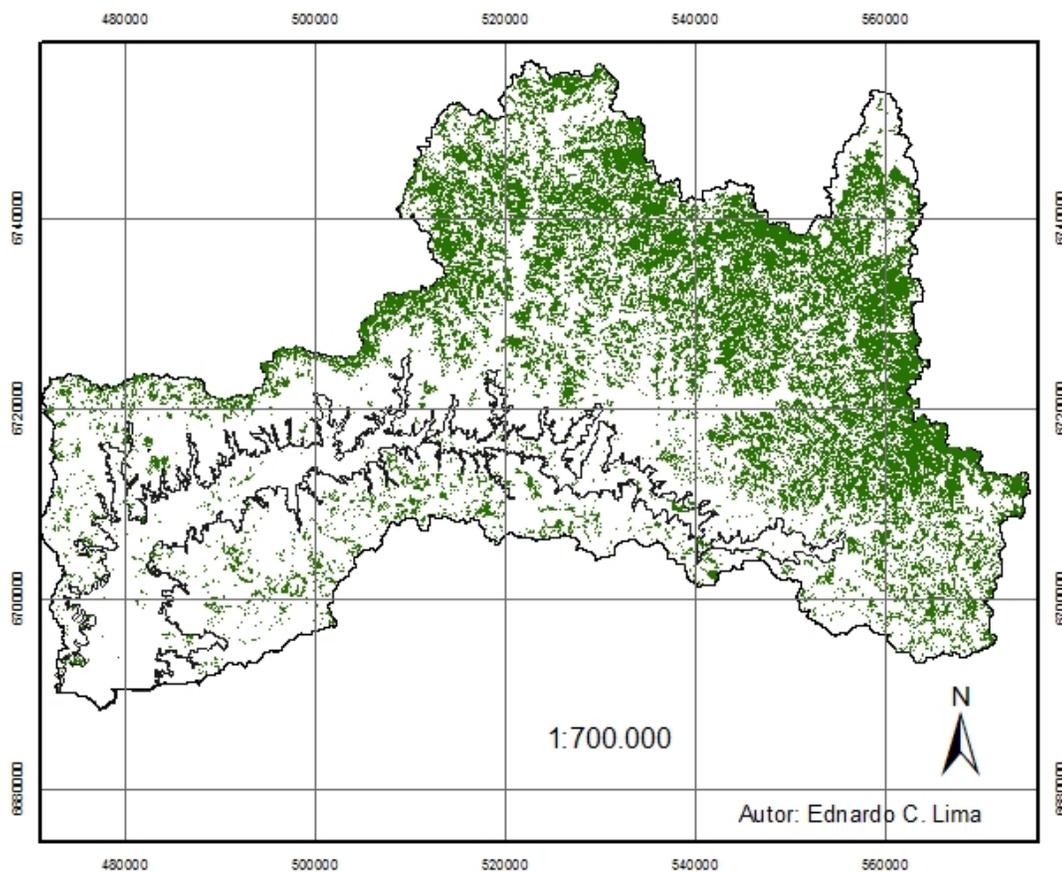
**Foto obtida 17/04/2011.**

Destacaram-se também pontos de supressão da vegetação nas áreas periféricas dos municípios do curso baixo da bacia, tais como: Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul e Esteio. Esses pontos de desmatamento estão associados à expansão da mancha urbana e áreas agrícolas, principalmente junto às bordas das áreas planas da várzea da bacia como demonstra a Figura 16. Dentre as atividades agrícolas, destacam-se a rizicultura e as policulturas, nos cinturões verdes que cercam a Região Metropolitana de Porto Alegre.



**Figura 16 – Áreas de grande supressão da vegetação no curso baixo, bacia do rio dos Sinos, período de 1993-2009.**

O Mapa 6, mostra de forma muito clara a espacialização da vegetação preservada no período de 1993 a 2009, no curso médio e alto principal mente, nos quadrantes Nordeste e Norte da bacia. Essas áreas apresentam relevo acidentado, de maior altitude e declividade da bacia, ocupam as nascentes dos subafluentes e afluentes do rio dos Sinos. Essas áreas são de baixa densidade demográfica e atividades econômicas.



#### Legenda

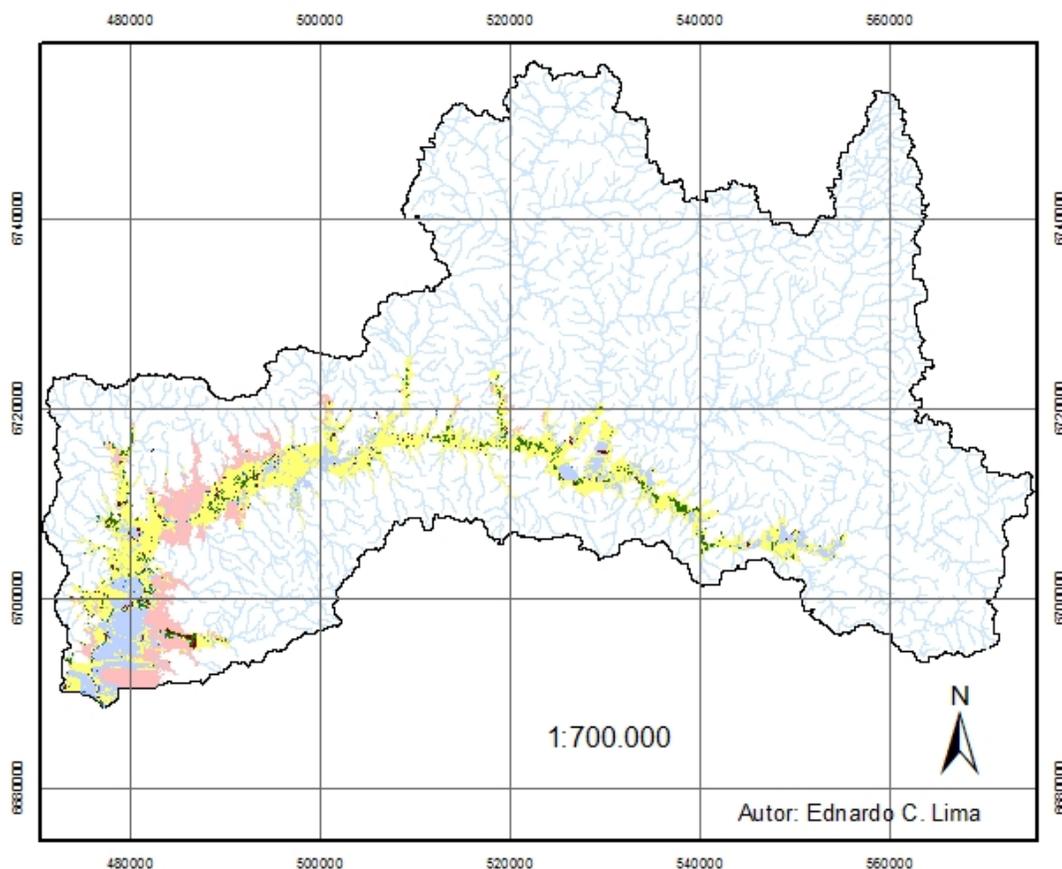
- Vegetação preservada - 93-09
- Limite da área de várzea
- Limite da Bacia

DATUM WGS 84  
 Projeção Transversa de Mercator  
 Fuso 22S

**Mapa 6 – Vegetação preservada, bacia dos Sinos, no período de 1993-2009.**

### 4.3 Mapeamento do uso e ocupação do solo nas áreas de várzea da bacia do rio dos Sinos

O resultado da classificação digital do uso e ocupação do solo na área de várzea da bacia rio dos Sinos, a partir de imagens Landsat 5, sensor TM, órbitas e pontos 221-80/81, tomados em 13/04/2009, 220-81, toma em 28/09/2009, esta representado no Mapa 7. A Tabela 6 apresenta a área em km<sup>2</sup> e percentuais das cinco classes da classificação digital e da mancha urbana vetorizada.



### Legenda

Mancha urbana\_várzea\_2009

Solo exposto

Corpos d'água

Vegetação

Campo ou Áreas agrícolas

Florestamento

HIDROGRAFIA

Limite da Bacia

DATUM WGS 84  
Projeção Transversa de Mercator  
Fuso 22S

**Mapa 7 – Uso e ocupação do solo, várzea da bacia dos Sinos - 2009.**

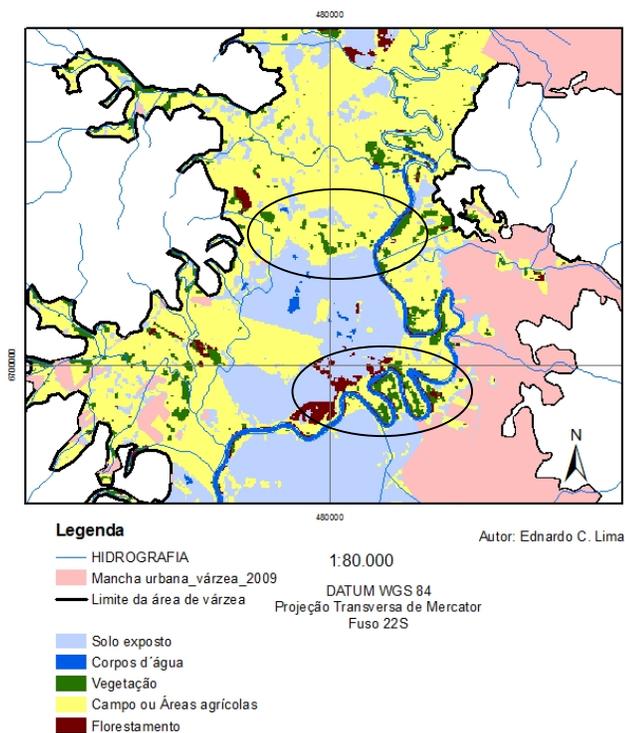
**Tabela 6 – Quantificação do uso e ocupação do solo, várzea da bacia dos Sinos - 2009**

| Classes                   | Área (km <sup>2</sup> ) | %          |
|---------------------------|-------------------------|------------|
| Solo Exposto              | 76,3                    | 15,88      |
| Corpos d'água             | 4,7                     | 0,98       |
| Vegetação                 | 23,8                    | 4,95       |
| Campos ou Áreas Agrícolas | 281,8                   | 58,64      |
| Florestamentos            | 7,06                    | 1,47       |
| Mancha Urbana             | 86,9                    | 18,08      |
| <b>Totais</b>             | <b>480,56</b>           | <b>100</b> |

A delimitação da área de várzea, recorte na área da bacia do rio dos Sinos, a partir do *shapefile vetorial*, produzido conforme descrito na metodologia, revelou uma área total de 480 km<sup>2</sup> e uma configuração de uso e ocupação diferente da obtida para toda a bacia.

Na área de várzea o principal uso do solo se dá através da agricultura e pastagens, uma vez que, a classe de campo ou área agrícola representou 58,64% da área total de várzea. Fato condizente com a maior concentração populacional e uso econômico do solo, nas áreas planas e de baixa declividade das planícies de inundação da bacia dos Sinos. As áreas de várzea apresentam maiores condições para o assentamento humano e sua subsistência, motivo pelo quais, essas áreas possuem ocupação mais antiga e grande alteração ambiental.

Comparativamente ao uso e ocupação da área total da bacia, em que a classe de vegetação apresentava um percentual de 37,75% e a classe de campo ou área agrícola apresentava 37,44%, portanto ocupando uma área menor, na área de várzea a vegetação ocupa uma área de apenas 4,95%. A vegetação na área de várzea se apresenta preservada junto ao curso dos rios, sendo assim, predominantemente ciliar, no restante das demais áreas da várzea se apresenta fragmentada e muito restrita. A Figura 17 mostra a mata ciliar e a fragmentação da vegetação na área de várzea do rio dos Sinos, próxima à Sapucaia do Sul.



**Figura 17 – Mata ciliar e vegetação fragmentada, várzea da bacia dos Sinos, 2009.**

A área interpretada como mancha urbana, ocupa uma área de 18,08% da área de várzea, seguida da classe de solo exposto, que ocupa 15,88% da área de várzea. Esses percentuais se apresentam superiores aos apurados para toda a bacia, evidenciando maior ocupação urbana e industrial nessa parte da bacia.

O percentual de mancha urbana com relação a toda a área da bacia é de 7,17% em 2009 e para a área de várzea esse percentual sobe para 18,08%, comparativamente a totalidade da área da mancha urbana, 33% da mesma está inserida dentro das terras baixas da área de várzea. Enquanto que, a área de várzea representa apenas 13% da área da bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

As áreas de florestamento representam apenas 1,47% da área de várzea, um percentual pequeno se comparado com os 4,39% da área total da bacia. Esse fato está relacionado com o direcionamento do setor primário na área de várzea para a rizicultura de irrigação e a policultura de hortifrutigranjeiros associada ao consumo das cidades próximas.

Nesse recorte da classificação digital, a classe de corpos d'água apresentou um percentual de 0,98%, com relação à área total da várzea. Esse percentual se apresenta próxima da realidade devido aos melhores resultados da classificação em rios de maior extensão entre as margens, porém devido a mata ciliar presente, ainda são resultados inferiores aos reais. Também nesse sentido, o recorte da área de várzea excluiu as classes de sombra e nuvens, não classificadas nessa área.

## 5. Conclusões

O uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, no estudo de uso e ocupação do solo da bacia do rio dos Sinos, se mostrou eficiente e de baixo custo, uma vez que: as imagens orbitais utilizadas foram da série histórica Landsat 5 sensor TM, disponíveis de forma gratuita no sítio eletrônico do INPE; o processamento digital das imagens com os softwares Arcgis 9.3 e Envi 4.3, também apresentou praticidade e eficiência, com destaque para o Arcgis 9.3 para a manipulação do SIG (sistema de informações geográficas) criado e formação de mosaicos de imagens com o Envi 4.3. Em virtude da evolução da obtenção e disponibilização de imagens orbitais com alta resolução, recomenda-se que as futuras análises espaço-temporais sejam efetuadas com imagens orbitais com resolução maior que as Landsat 5 (30 m), fato que tornará o trabalho mais rápido e preciso.

O processo de classificação digital, apresentou resultados satisfatórios, como demonstrado nos resultados, a partir da análise da exatidão, onde a metodologia de coleta de amostras de treinamento e o uso do algoritmo de Máxima Verossimilhança (Maxver) no software Arcgis 9.3, resultaram em um mapa de uso e ocupação do solo, em formato *raster*, possível de transformar em arquivo *vetorial* e quantificar a área de cada classe, atendendo plenamente as necessidades do estudo.

O desenvolvimento de técnicas de classificação digital é essencial e recomendável para mapeamentos de uso e ocupação do solo de grandes áreas como a da bacia do rio dos Sinos (mais de 3.500 km<sup>2</sup>), apesar da menor precisão desse método, com relação ao processo de vetorização.

Com relação ao mapeamento do uso e ocupação do solo da bacia do rio dos Sinos, as classes de vegetação e campo ou área agrícola apresentaram a maior área de uso e ocupação solo na área da bacia, 37,20% em 1993 e 37,75% em 2009 e 47,46% em 1993 e 37,44% em 2009. Evidenciando grandes áreas de florestas, principalmente no curso médio e alto da bacia e predomínio de campos para a pecuária e cultivo agrícola nos curso baixo da bacia e área de várzea. A análise das variações para essas classes, demonstraram que a vegetação se manteve praticamente com a mesma área, apresentando pequena expansão, porém os mapeamentos revelaram maior expansão nos cursos alto e médio e maior retração ou desmatamento no curso baixo junto aos municípios de da Região Metropolitana de Porto Alegre. A classe de campo ou área

agrícola apresentou diminuição de sua área em 10,02%, principalmente no curso alto e médio da bacia.

As classes de solo exposto e mancha urbana apresentaram respectivamente em 1993, 7,33% e 5,22% e em 2009, 11,69% e 7,16%, apesar de menores, essas áreas juntas representaram na média 15% da área da bacia, onde o solo se encontra impermeabilizado pela pavimentação ou exposto, representando grande alteração ambiental, que vem se refletindo em impactos e riscos ambientais junto às comunidades assentadas. Tanto a área de solo exposto quanto a mancha urbana apresentaram expansão no período, evidenciando uma tendência de crescimento das cidades e de áreas de solo preparado para o plantio ou novos loteamentos.

A classe de florestamento apresentou em 1993, 1,38% e em 2009 4,39% da área da bacia apresentando grande expansão para o período dessa prática econômica na bacia, revelando expansão da atividade de silvicultura na área da bacia. Os corpos d'água representaram um percentual 0,22% em 1993 e 0,21 em 2009, percentual que não corresponde à realidade para a rede hidrográfica em função da impossibilidade de classificar de forma digital plenamente a rede hidrográfica em função da mata ciliar que encobre parcialmente ou totalmente os mesmos.

O mapeamento do uso e ocupação na área de várzea da bacia em 2009, apresentou resultados distintos da área total da bacia para o mesmo período. Neste, a área apurada foi de 480,56 km<sup>2</sup>, apresentando maior uso e ocupação para a classe de campo ou área agrícola (58,64%) e aumento das classes de solo exposto e mancha urbana, respectivamente de 15,88% e 18,08%. A vegetação passou a ocupar um percentual de 4,95%, (principalmente mata ciliar) e o florestamento 1,47%. A classe de corpos d'água apresentaram 0,98% da ocupação, percentual maior do que no mapeamento de toda a bacia, muito pelo maior extensão entre as margens dos rios no curso baixo e pela maior presença de açudes junto a área de várzea da bacia.

O mapeamento do uso e ocupação da área de várzea da bacia do rio dos Sinos, apresentou resultados que apontam para a necessidade de efetuar-se análises complementares e particulares das regiões geomorfológicas das bacias, como é o caso da várzea. Uma vez que, os padrões de uso e ocupação mudam e revelam realidades socioeconômicas distintas nessas áreas, apresentado assim subsídios mais concretos para o entendimento da real do todo.

Para uma análise das variações de uso e ocupação mais condizente com a realidade aconselha-se para novos trabalhos, o mapeamento multitemporal, ou seja, de

imagens de cada mês ou estações do ano, para o período de análise, a fim de classificar as diversas culturas agrícolas e precisar melhor as áreas de solo exposto como áreas de descanso ou descobertas pela vegetação.

O trabalho apresentado complementa ou articula mapeamentos geomorfológicos, zoneamentos socioeconômicos, análises ambientais, dentre outros, onde os resultados obtidos podem ser aplicados em diversas áreas de interesses e os dados obtidos podem ser ampliados e aplicados em novas pesquisas.

## 6. Referências

ALMEIDA, Jefferson William Lopes; SANTOS, Itamar Souza; VELOSO, Gabriel Alves; LEITE, Marcos Esdras. **Geotecnologias Aplicadas ao Uso do Solo: Estudo de Caso Bacia do Vieiro no município de Montes Claros/MG**. UNIMONTES, 2009.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em:  
<http://www.cbh.gov.br/DataGrid/GridRioGrande.aspx>. Acessado em 20/03/2011.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRAND DO SUL. Disponível em :  
<http://www.seplaq.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=548>. Acessado em 14/04/2011.

BARBOSA, Paulo Renato. **Hidrologia Geral**. UFRJ, Escola Politécnica, Departamento de Recursos Hídricos e Meio ambiente. Rio de Janeiro, 2009.

BARROS, Rafael Silva de; CRUZ, Carla Bernadete Madureira. **Geração de Mosaico e Blocos Diagramas através do uso de imagens CBERS e DEM SRTM – Estudo de caso na Bacia da Baía de Guanabara, RJ**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 344 p. (INPE-10506-RPQ/249). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43>>. Acesso em: 02 jan. 2011.

COMITESINOS. Disponível em: <<http://www.comitesinos.com.br>>. Acessado em 23 de Agosto de 2010.

CENTRO DE PESQUISA ESTADUAL EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA. **Mapeamento geomorfológico da bacia do rio dos Sinos**. UFRGS, 2011. Material não publicado.

DORNELES, Tales Farina. **Análise da Alteração do Uso do Solo em Bacias Hidrográficas**. Dissertação de Mestrado disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/>>. Acessado em 12/01/2011. UFRGS, Porto Alegre, 2003.

FEPAM/RS, Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br>>. Acessado em 13 de Agosto de 2010.

E. FERREIRA, Manuel; ANDRADE, Leide R. M. de; SANO, Edson E. ; CARVALHO, Armindo M. de; JUNQUEIRA, Nilton T. V.. **Uso de Imagens Digitais na Avaliação da Cobertura do Solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2001.

FERREIRA, César Cardoso e GONÇALVES, Franciele. **Uso de geoprocessamento para mapeamento do uso e ocupação da terra com ênfase ao planejamento ambiental: estudo de caso da bacia hidrográfica Campo Triste-Três Lagoas/MS/Brasil**. UFMS, Três Lagoas - MS, Brasil e UNESP, Presidente Prudente/SP, Brasil. 2009.

INPE, (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acessado 10 de Agosto de 2010.

JÚNIOR, Cláudio Bielenki; FARIA, Sergio Donizete. **Estudo e Análise do Uso de imagens do Satélite CBERS-2 – Sensor WFI para Atualização da Rede Hidrográfica – Escala 1:1.000.000**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 Abril 2005. São José dos Campos, INPE, p. 843-848.

NOVO, Evlyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Ed. Blucher, 2008.

OLIVEIRA, Gabriel de. **Integração de dados HRG-SPOT5 e SRTM para espacialização de bananais em área do bioma Mata Atlântica no município de Três Cacheiras, RS**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2009.

OLIVEIRA, Guilherme Garcia; PENTEADO, Adriana de Fátima; SALDANHA, Dejanira Luderitz; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Mapeamento e análise da distribuição das áreas inundáveis na bacia do rio dos Sinos/RS**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de

Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 de Abril de 2009, p. 4173 – 4180. Disponível em <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.10.14.48/doc/4173-4180.pdf>. Acessado em 10/09/2010.

PEREIRA, Jaildo Santos. **A problemática dos recursos hídricos em algumas bacias hidrográficas brasileiras.**, Porto alegre/RS: UFRGS, 1999.

PERROTTA, Mônica Mazzini. **Processamento Digital Básico de Imagens de Sensores Remotos para Uso em Mapeamentos Geológicos – Programa ENVI.** CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2005.

ROSA, Roberto. **Introdução ao sensoriamento remoto.** 7º ed. Uberlândia: UFU, 2009, Brasil.

SARAIVA, Tatiana Saralegui. **Análise Espaço-Temporal do Desflorestamento em Rondônia Face ao Zoneamento Socioeconômico-Ecológico.** São José dos Campos/SP: INPE, 2009.

SILVA, Antônio Machado. **Processamento Digital de Imagens de Satélite.** XX Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre – RS, PUCRS, 2001.

SPRICIGO, Gisele; FILLIPPI, Eduardo Ernesto. **O rural no Vale do Rio dos Sinos: desaparecimento ou permanência?**, Porto Alegre, RS: PGDR/UFRGS, 2006.

STRAHLER, Arthur N.; STRAHLER, Alan H.. **Geografia Física.** 3º edição, Barcelona: Omega, 1989.

TUCCI, Carlos E. M.; SILVEIRA, André L. L. da. **Hidrologia Ciência e Aplicação.** 4.ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2007.

VEYRET, Yvette. **Os riscos – o homem como agressor e vítima do meio ambiente.** São Paulo: Editora Contexto, 2007.