

MARCKLEUBER FAGUNDES COSTA

Sistema de Informação Geográfica aplicado às atividades de Polícia Militar de Meio
Ambiente no Estado de Minas Gerais. Estudo de Caso Lagoa Santa - MG



Monografia apresentada ao Curso de
Especialização em Geoprocessamento
da Universidade Federal de Minas
Gerais para a obtenção do título de
Especialista em Geoprocessamento

Orientador: Luciano Vieira Dutra

2002

Costa, Marckleuber Fagundes.

Sistema de Informação Geográfica aplicado às atividades de Polícia Militar de Meio Ambiente no Estado de Minas Gerais – Estudo de Caso Lagoa Santa/MG. Belo Horizonte, 2002.N.p. 51

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais.

Departamento de Cartografia.

1.Imagens LandSat; 2.Mapeamento de crimes e infrações ambientais; 3.Localização de áreas degradadas

Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento de Cartografia

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, meu maior inspirador;

Ao Professor Luciano Vieira Dutra, meu orientador, pelo empenho, dedicação e presteza em auxiliar-me na confecção do trabalho;

Ao Comando da Polícia Militar de Minas Gerais, que me ofereceu a possibilidade de realizar o curso;

Ao Major Aryone Juarez de Almeida Júnior, Comandante da Sétima Companhia de Polícia Militar de Meio Ambiente, que me apoiou, incentivou e forneceu condições favoráveis para que o trabalho fosse concluído;

A Ana Carolina, minha namorada, que esteve sempre ao meu lado, nos momentos difíceis;

Aos meus pais, que apesar da distância, sempre deram o apoio necessário.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a criação de um modelo de Sistema de Informações Geográficas para uso das Companhias de Polícia Militar de Meio Ambiente, no Estado de Minas Gerais, nas atividades de prevenção e repressão aos crimes e infrações ambientais, através do mapeamento das ocorrências e localização de áreas degradadas usando métodos de classificação de imagens de satélite, tendo como área de estudo o Município de Lagoa Santa – MG.

SUMÁRIO	Página
Agradecimentos.	03
Resumo.	04
Sumário.	05
Lista de Figuras.	06
Lista de Tabelas.	08
CAPÍTULO I – Introdução e Objetivos.	09
1.1 Introdução.	09
1.2 Objetivos.	09
1.3 Área de Trabalho.	10
CAPÍTULO II-Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica.	12
2.1 Introdução.	12
2.2 Aquisição de Dados em um SIG.	13
2.3 Escolha do Software.	14
2.4 Tipos de Dados em Geoprocessamento.	16
2.5 Classificação de Imagem.	17
2.6 Programação Através da Linguagem Espacial para Geoprocessamento.	18
CAPÍTULO III - Materiais e Métodos.	20
3.1 Materiais.	20
3.1.1 Produto Digital.	21
3.1.2 Aplicativos.	21
3.2 Sequência Metodológica.	22
3.2.1 Criação do Banco de Dados.	22
3.2.2 Criação do Modelo Proposto.	25
3.2.3 Trabalho de Campo.	27
3.2.4 Registro das Imagens.	28
3.2.5 Georreferenciamento das Ocorrências.	29
CAPÍTULO IV - Resultados e Conclusões.	33
4.1 Localização de Áreas Desmatadas (Degradadas).	33
4.2 Cálculo de precisão das Classificações.	36
4.2.1 Uso do Solo 1999.	36
4.2.2 Uso do Solo 2001.	38
4.2.3 Análise da Mudança de Uso da Cobertura do Solo.	40
4.3 Conclusões e Sugestões.	48
5. Referências e Bibliografias.	49
Anexo único.	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do Município de Lagoa Santa-MG.	11
Figura 2: Município de Lagoa Santa – MG – Recorte Imagem LANDSAT 7 de 11/08/1999. Bandas 3,4 e 5 (Composição 3B4G5R realçada).	11
Figura 3: Sequência do trabalho	20
Figura 4: Valores em μ , representando os limites de comprimentos de onda de sensibilidade das bandas espectrais do Sensor TM (Landsat 5) e do Sensor ETM+ (Landsat 7).	21
Figura 5: Modelo final para plotagem das ocorrências por coordenadas geográficas.	24
Figura 6: Modelo final para atualização da tabela de atributos.	24
Figura 7: Janela Banco de Dados.	25
Figura 8: Janela Projetos.	26
Figura 9: Janela Modelo de Dados.	26
Figura 10: Janela Planos de Informação.	27
Figura 11: Consulta de Ocorrências na Tela.	29
Figura 12: Recorte do boletim de ocorrência registrado.	31
Figura 13: Fotografia digital da ocorrência registrada.	31
Figura 14: Imagem LANDSAT 7 de 11/08/1999 do Município de Lagoa Santa –MG - Composição 3B4G5R com Contraste.	34
Figura 15: Imagem classificada do Uso do Solo do Município de Lagoa Santa – MG gerado a partir da imagem LANDSAT 7 de 11/08/1999. Composição 3B4G5R.	34
Figura 16: Imagem LANDSAT 5 de 09/09/2001 do Município de Lagoa Santa. Composição 3B4G5R com contraste.	35
Figura 17: Imagem classificada do Uso do Solo do Município de Lagoa Santa – MG gerado a partir da imagem LANDSAT 5 de 09/09/2001. Composição 3B4G5R.	35
Figura 18: Resultados – Aquisição – Uso do Solo 1999	36
Figura 19: Resultados – Teste – Uso do Solo 1999	37
Figura 20: Resultados – Aquisição – Uso do Solo 2001	38
Figura 21: Resultados – Teste – Uso do Solo 2001	39
Figura 22: Sobreposição dos temas vegetação de 2001 e 1999.	40
Figura 23: Detalhes extraídos da figura 22. Em vermelho, áreas desmatadas localizadas.	40
Figura 24: Sobreposição dos temas vegetação de 1999 e 2001	41
Figura 25: Detalhes extraídos da figura 24. Em verde, áreas onde ocorreu aumento da vegetação do ano de 1999 para 2001.	41
Figura 26: Sobreposição do tema Vegetação (em cinza) da imagem classificada do Uso do Solo de 2001 na imagem LANDSAT 5 de 1999.	42
Figura 27: Pontos georreferenciados criados nos locais de desmates identificados.	42
Figura 28: Pontos georreferenciados dos locais de desmate identificados sobrepostos à imagem LANDSAT 7 de 1999. Nos locais existia vegetação.	43
Figura 29: Pontos georreferenciados dos locais de desmate sobrepostos à imagem LANDSAT 5 de 2001, onde já não existe mais vegetação.	43
Figura 30: Detalhes da mudança da cobertura vegetal no período de 1999 a 2001. À esquerda, imagem LANDSAT 7 de 1999 e a direita imagem LANDSAT 5 de 2001.	44

Figura 31: Área total desmatada.	45
Figura 32: Destaques em locais onde ocorreram mudanças mais críticas na cobertura vegetal.	45
Figura 33: Programação em LEGAL usada para gerar a diferença entre a vegetação existente em 1999 e a existente em 2001.	46
Figura 34: Arquivo gerado pelo Sistema SPRING com as coordenadas geográficas de pontos de desmate localizados.	46
Figura 35: Mapa da área total desmatada.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Modelo criado para formação inicial do Banco de Dados.	22
Tabela 2: Modelo da tabela para organização dos dados a serem plotados.	23
Tabela 3: Modelo da tabela para organização dos dados a serem atualizados na tabela de atributos.	23
Tabela 4: Atributos que compõe o arquivo de pontos plotados.	30
Tabela 5: Tabela de atributo: modo exibir o boletim de ocorrência.	30
Tabela 6: Matriz de erro de classificação – Aquisição – Uso do Solo 1999.	36
Tabela 7: Exatidão da classificação - Aquisição - Uso do Solo 1999.	36
Tabela 8: Matriz de erro de classificação – Teste - Uso do Solo 1999.	37
Tabela 9: Exatidão da classificação - Teste – Uso do Solo 1999.	37
Tabela 10: Matriz de erro de classificação-Aquisição – Uso do Solo 2001.	38
Tabela 11: Exatidão da classificação – Aquisição - Uso do Solo 2001.	38
Tabela 12: Matriz de erro de classificação – Teste - Uso do Solo 2001.	39
Tabela 13: Exatidão da classificação – Teste - Uso do Solo 2001.	39

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 INTRODUÇÃO

As infrações e os crimes contra o Meio Ambiente são, a cada dia, mais frequentes em todo o país. Pessoas e empresas sem consciência ambiental, preocupadas apenas com o lucro, e até mesmo cidadãos de bem, desinformados, contribuem para a devastação de nossas matas e florestas, destruição de nossa fauna terrestre e aquática, poluição de nossos rios, do ar e do solo.

A Polícia Militar de Minas Gerais mantém, em sua estrutura, Companhias de Polícia de Meio Ambiente, distribuídas estrategicamente por todo o território mineiro, com a missão constitucional de prevenir, combater e educar face às ações degradadoras ocorridas contra o Meio Ambiente.

A vasta extensão territorial do Estado dificulta a fiscalização e contribui para o aumento dos crimes e infrações, principalmente aqueles contra a nossa Flora. A cada dia são descobertos mais e mais locais de desmates, de maneira tardia. Queimadas são provocadas, simulando incêndios florestais, com intuito de transformar áreas de mata nativa em pastagens.

Diante disto, foi necessário desenvolver um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para melhor compreender os fenômenos criminais contra o Meio Ambiente, de maneira tal que possibilitasse um melhor planejamento das ações e um maior conhecimento da área de atuação.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi a criação de um SIG, com a utilização de imagens de satélite, para identificar e localizar mudanças no meio ambiente, causadas por desmatamentos, queimadas, expansão urbana desordenada (loteamentos clandestinos), para planejamento mais objetivo das equipes de fiscalização em campo.

Mais especificamente, os objetivos são:

- a) Mapeamento de Crimes e Infrações Ambientais

Assim como o Geoprocessamento Criminal, já em uso pela Polícia Militar de Minas Gerais - PMMG, a utilização desta ferramenta nas atividades ligadas ao Meio

Ambiente é fundamental e essencial no georreferenciamento das ocorrências afetas a crimes e infrações ambientais.

b) Localização de Áreas degradadas

Através das Imagens do satélite, usando técnicas de classificação de imagens, será feita a localização das áreas degradadas desconhecidas ou de difícil acesso, como desmates, atividades de extração mineral, áreas de expansão urbana (loteamento e chacreamento), poluição hídrica, queimadas, e outros tipos de degradação, gerando mapas temáticos dos locais.

c) Acompanhamento do Índice de Supressão da cobertura vegetal

Através do comparativo entre imagens antigas e atuais de satélites, será identificado e mensurar a área desmatada em determinado período, fazendo uma projeção para o futuro, local onde incidirá uma maior fiscalização.

d) Projeção de Áreas de Risco de Incêndio Florestal

Mapeamento de áreas sujeitas a incêndios florestais, com ocorrências por dia, hora, mês, local e período, de forma a identificar, com antecedência, os possíveis locais de incêndios para as épocas de seca. Nestes locais seriam intensificadas patrulhas preventivas, aceiros, conscientização da população local e treinamento de brigadas de incêndio. Para tal, poderá ser utilizado os dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela Internet.

1.3 ÁREA DE TRABALHO

O local escolhido foi o município de Lagoa Santa-MG (Figuras 1 e 2), área de atuação da Sétima Companhia de Polícia Militar de Meio Ambiente- 7ª Cia PM MAmb, sediada em Belo Horizonte. A 7ª Cia PM MAmb tem responsabilidade por toda a Região Metropolitana da Capital Mineira e de algumas cidades no seu entorno, totalizando 70 (setenta) municípios.

A escolha do Município de Lagoa Santa para o Estudo de Caso foi em virtude dos seguintes motivos: proximidade com a Sede da 7ª Companhia de Polícia Militar de Meio Ambiente, existência de um Grupo de Polícia de Meio Ambiente no Município, diversidade de ocorrências (pesca, desmate, expansão urbana, degradação ambiental, fauna, incêndios florestais) e boa organização do banco de dados preliminar.

Além disto, a cidade de Lagoa Santa está inserida dentro de uma Área de Proteção Ambiental – APA, denominada APA Carste Lagoa Santa, de relevante interesse para as ações de preservação e proteção ambiental.

Nos últimos anos, a expansão urbana foi um dos grandes responsáveis pela diminuição da cobertura vegetal no município de Lagoa Santa. Vários loteamentos, chacreamentos, condomínios fechados e pequenos sítios surgiram onde antes havia apenas vegetação nativa.

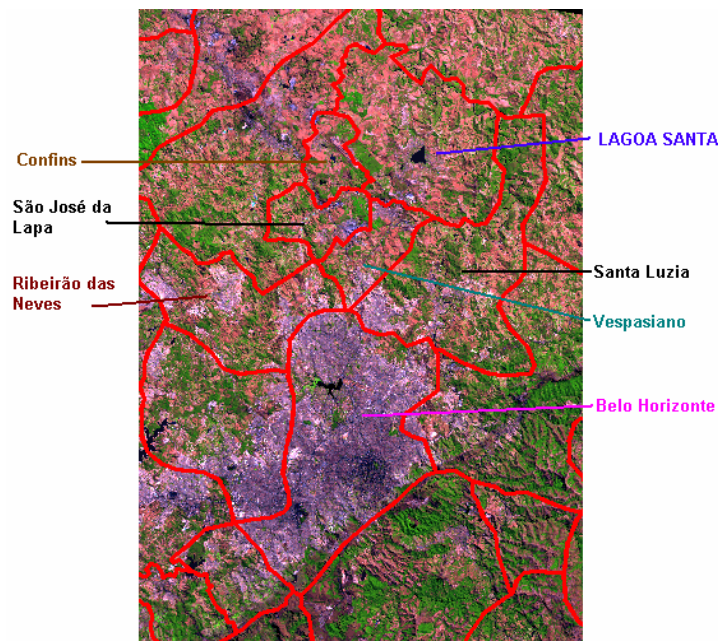


Figura 1: Localização do Município de Lagoa Santa- MG

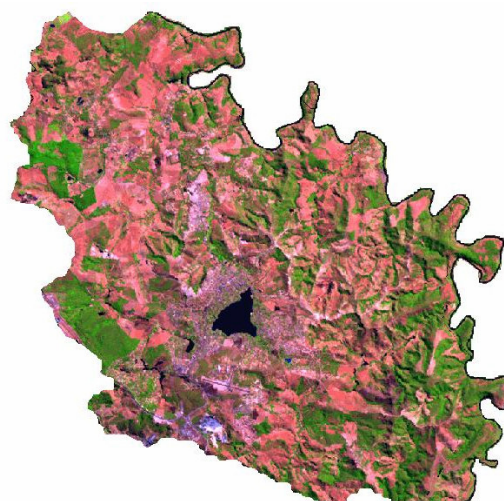


Figura 2: Município de Lagoa Santa-MG – Recorte Imagem LANDSAT 7 de 11/08/1999. Bandas 3, 4 e 5 (Composição 3B4G5R realçada).

CAPÍTULO II

GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO

O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é usado para definir sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial; oferecem ao usuário uma visão inédita 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.

O requisito de armazenar a geometria dos objetos geográficos e de seus atributos representa uma dualidade básica para SIGs. Para cada objeto geográfico, o SIG necessita armazenar seus atributos e as várias representações gráficas associadas. Para esclarecer ainda mais o assunto, apresentam-se a seguir algumas definições de SIG:

“Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados” (Aronoff, 1989).

“Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real” (Burrough, 1986).

“Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas” (Cowen, 1988).

A estrutura de um SIG, numa visão abrangente, pode ser indicada através dos seguintes componentes (INPE, 2002):

- Interface com o usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de consulta e análise espacial;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados.

O relacionamento destes componentes é de forma hierárquica. No nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída). No nível mais interno do sistema, um sistema de gerência de bancos de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

De uma forma geral, as funções de processamento de um SIG operam sobre dados em uma área de trabalho em memória principal. A ligação entre os dados geográficos e as funções de processamento do SIG é feita por mecanismos de seleção e consulta que definem restrições sobre o conjunto de dados.

2.2 AQUISIÇÃO DE DADOS EM UM SIG

Ao contrário de sistemas de banco de dados convencionais, o SIG é capaz de armazenar informações variadas, de natureza gráfica, como vetores e imagens. Para isto, é necessário que o SIG conte com módulos ou interfaces que permitam que o usuário possa incorporar dados e visualizar graficamente estes dados. Além disto, o sistema precisa ser capaz de detectar falhas e incorreções nos dados gráficos, e sinalizá-los para o usuário antes de deixar que dados incorretos ou inconsistentes sejam incorporados ao banco de dados geográfico (INPE, 2002).

Em resumo, o SIG precisa ser capaz de:

- Permitir a digitalização de dados gráficos em formato vetorial, provendo os meios para associação (ou digitação) das informações alfanuméricas correspondentes. Para isto, precisa permitir a utilização de quaisquer tipos de dispositivos de entrada de dados, como mesas digitalizadoras, mouse, teclado (digitação de coordenadas), etc.;
- Permitir a associação de imagens digitais ao banco de dados, através de recursos de georreferenciamento de imagens ou mesmo através da integração da imagem ao banco. Para isto, precisa ser capaz de converter ou traduzir arquivos de imagem codificados em diversos formatos distintos para o formato adotado por ele;
- Realizar análises de consistência sobre os dados vetoriais, visando detectar incorreções na topologia ou inconsistências com relação ao modelo de dados. Estas incorreções incluem: erros de fechamento topológico (elementos poligonais), superposições indesejáveis, undershoots, overshoots, etc.;

-Realizar procedimentos de “limpeza” ou correção sobre os dados adquiridos, visando melhorar sua qualidade e prepará-los para a incorporação ao banco de dados geográfico. Estes procedimentos incluem edge matching, eliminação de vértices desnecessários, suavização de curvas, etc.;

-Receber, converter e tratar dados provenientes de outros sistemas de informação, diferentes projeções cartográficas, dados geográficos ou não, gráficos ou não, a partir de arquivos de diferentes formatos.

As funções de entrada de dados continuam a demandar uma fração desproporcionada dos recursos para a implantação de um SIG. Seu custo é às vezes um impedimento para a adoção de SIG em organizações. O que distingue os vários enfoques com relação à entrada de dados é o grau de automatização alcançado. Processos manuais são bastante propensos a erros, apesar da sofisticação dos dispositivos e software disponíveis, e a solução destes erros por procedimentos automáticos é lenta e custosa. A digitalização por processos mais automatizados (digitalização semi-automática e automática) é economicamente interessante e vai se tornar cada vez mais viável, à medida que cresce o custo de mão-de-obra e decresce o custo de equipamentos e software.

2.3 ESCOLHA DO SOFTWARE

Os Softwares existentes no mercado que atenderiam as necessidades do SIG para as atividades de Polícia Militar de Meio Ambiente tem um custo bastante elevado, o que seria ainda multiplicado inúmeras vezes quais fossem as Unidades que receberiam o Sistema. A aquisição de um Software pago para todas as Sedes de Companhias de Polícia de Meio Ambiente já seria bastante onerosa, e expandindo sua alocação para os Pelotões e Grupos de Polícia destacados, que é o objetivo final, faria com que o custo inviabilizasse o projeto.

Como solução para o problema, foi utilizado o SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), que é um software livre, em português, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), e que oferece bons recursos para a implantação do SIG.

O que se segue foi baseado nas apostilas dos cursos de Introdução ao Spring e Banco de Dados Geográficos do INPE, também disponíveis na Internet, no endereço www.dpi.inpe.br/cursos.

O SPRING é um banco de dados, para ambientes UNIX e Windows com as seguintes características:

- Opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- Trabalha com dados vetoriais, dados matriciais (“raster”), e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto num SIG;
- Possui um ambiente de trabalho amigável, através da combinação de menus e janelas;
- É capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde microcomputadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho.

Uma outra característica extremamente importante, é que a base de dados é única, isto é, a estrutura de dados é a mesma quando o usuário trabalha em um micro computador (IBM-PC) e em uma máquina RISC (Estações de Trabalho UNIX), não havendo necessidade alguma de conversão de dados. O mesmo ocorre com a interface, a qual é exatamente a mesma, de maneira que não existe diferença no modo de operar o produto SPRING.

Baseado nessas características o SPRING tem se mostrado uma opção altamente atrativa na área de geoprocessamento, pois além de toda sua funcionalidade, é um software de domínio público.

O sistema SPRING constitui-se de quatro aplicativos ou programas executáveis, o “**Impima**” – utilizado para leitura de imagens e conversão para o formato GRIB, o “**SPRING**” – programa principal do sistema onde serão modelados e processados os dados, o “**Scarta**” – programa que permite a elaboração de cartas a partir de dados previamente tratados no programa “**SPRING**” e o **Iplot** – utilizado para impressão do produto final.

Sendo o SPRING um sistema de Geoprocessamento, podemos defini-lo como um conjunto de ferramentas voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais, além da geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, e outros, devendo prover recursos para armazenamento, gerenciamento, manipulação e análise de dados. Os sistemas com estas características são também conhecidos como Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

A partir dos conceitos de SIG, apresentados no item 2.1 é possível indicar as principais características em que o SPRING está incluído:

- Integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno.
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, além de ferramentas para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados.

Além de todas as aplicações apresentadas, o SPRING oferece excelentes recursos de tratamento de imagens, e o mais interessante, possui um aplicativo, chamado SPRING WEB, para geração de páginas para Internet, que usa applets Java, evitando a necessidade de transmissão e instalação do plug-in e facilita a atualização ou evolução do software cliente. Permite, ainda, de maneira simples e rápida, a disponibilização de informações do SIG pela Internet, possibilitando a consulta e análise descentralizada do Banco de Dados.

2.4 TIPOS DE DADOS EM GEOPROCESSAMENTO

Os sistemas de Geoprocessamento normalmente armazenam a geometria dos mapas em arquivos e os atributos dos dados em bancos de dados convencionais (Dbase, Access, etc), o que caracteriza uma dualidade nos ambientes SIGs.

Os dados tratados em Geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados. Entretanto, os sistemas se restringem a tratar um ou mais tipos de dados: O SPRING trabalha com os seguintes tipos de dados:

TEMÁTICOS - contêm regiões geográficas definidas por um ou mais polígonos. Exemplos são mapas de temperatura ou tipo de vegetação de uma região. Estes dados são inseridos no sistema por digitalização ou, de forma mais automatizada, a partir de classificação de imagens;

CADASTRAL - distingue-se do temático pelo fato de que cada um de seus elementos é um objeto geográfico, que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas. Por exemplo, as Cidades do Estado de Minas Gerais são elementos do espaço geográfico que possuem atributos (nome da cidade, número de

escolas existentes, população etc.) e que podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escalas distintas;

REDE - também trata de objetos, porém as informações gráficas são armazenadas em coordenadas vetoriais, com topologia arco-nó: arcos têm um sentido de fluxo e podem ter atributos associados, assim como os nós podem ter atributos associados. A topologia de redes constitui um grafo, que armazena informações sobre recursos que fluem entre localizações geográficas distintas;

IMAGENS - Obtidas por satélites, fotografias aéreas ou "scanners" aerotransportados, as imagens representam formas de captura indireta de informação espacial. Armazenadas como matrizes, cada elemento de imagem, denominado "pixel", tem um valor proporcional à reflectância do solo para a área imageada;

Pela natureza do processo de aquisição de imagens, os objetos geográficos estão contidos na imagem e para individualizá-los, é necessário recorrer às técnicas de fotointerpretação e de classificação automática;

NUMÉRICOS - são utilizados para denotar a representação de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Usualmente associados a altimetria, também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas, como teor de minerais ou propriedades do solo ou subsolo.

2.5 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM

Classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. O resultado final de um processo de classificação é uma imagem onde cada pixel contém a informação de uma classe, ou tema, associada ao ponto da cena correspondente. Esses diferentes valores de classes são representados por símbolos gráficos ou cores.

As técnicas de classificação (ou classificadores) podem ser divididas em classificadores por pixel ou por regiões e podem levar em conta uma ou mais bandas da imagem (no caso de imagens multiespectrais). Os classificadores por pixel utilizam a informação espectral de cada pixel isolado para rotular ou classificar, enquanto que os

classificadores por regiões baseiam-se em um conjunto de pixels vizinhos que são primeiro agrupados em regiões homogêneas e depois classificados em um grupo*.

Os classificadores podem também ser divididos em supervisionados e não-supervisionados. Na classificação supervisionada o usuário, numa etapa chamada treinamento, para cada classe que se deseja diferenciar na imagem aponta-se um conjunto de amostras dessa classe. Essas amostras serão usadas para determinar os parâmetros estatísticos usados no processo decisão sobre a que classe um pixel pertence. Todos os pixels serão classificados entre uma das classes definidas no treinamento.

Na classificação não supervisionada o usuário não fornece esse tipo de informação a priori, e o sistema determinará, usando um algoritmo de “clustering” ou agrupamento, para identificar tais classes.

O SPRING utiliza os classificadores conhecidos pelas siglas a seguir (LOPES, 2002):

- Isoseg, análise por regiões, não supervisionado;
- Bhattacharya, análise por regiões, supervisionado;
- MaxVer, análise por pixel, supervisionado;
- MaxVer-Icm, análise por pixel, supervisionado;
- Distância Euclidiana, análise por pixel, supervisionado.

2.6 PROGRAMAÇÃO ATRAVÉS DA LINGUAGEM ESPACIAL PARA GEOPROCESSAMENTO ALGÉBRICO - LEGAL

A linguagem LEGAL é fortemente baseada no modelo de dados SPRING (INPE, 2002). Os operadores atuam sobre representações de dados dos modelos Numérico (grades regulares), Imagem, Temático, Cadastral e Objeto. Os modelos Objeto e Cadastral são complementares, e essencialmente permitem a espacialização de atributos de tabelas de bancos de dados sob a forma de mapas cadastrais. A coerência entre modelo de dados e operadores é considerada na interpretação de sentenças da linguagem, garantindo um maior controle semântico na definição de modelos espaciais. Mensagens de erro de sintaxe e execução ajudam o usuário na construção de programas.

* Uma explicação mais detalhada está fora do escopo deste trabalho. O pesquisador interessado pode consultar SCHOWENGERDT, 1997 e RICHARDS, 1999 além dos manuais do SPRING disponíveis no site www.dpi.inpe.br.

Um programa em LEGAL consiste de uma seqüência de operações descritas por sentenças organizadas segundo regras gramaticais, envolvendo operadores, funções e dados espaciais, categorizados segundo o modelo de dados SPRING, e representados em planos de informação e mapas cadastrais de um mesmo banco de dados / projeto SPRING. Planos das categorias Numérico e Imagem correspondem a representações em formato matricial. A maioria dos operadores sobre planos do modelo Temático também faz uso de representações matriciais. Mapas do modelo Cadastral, que representam espacialmente dados do modelo Objeto, fazem uso de representações no formato vetorial.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção compõe-se das seguintes sub-seções:

- Materiais;
 - Produto Digital;
 - Aplicativos.
- Sequência Metodológica;

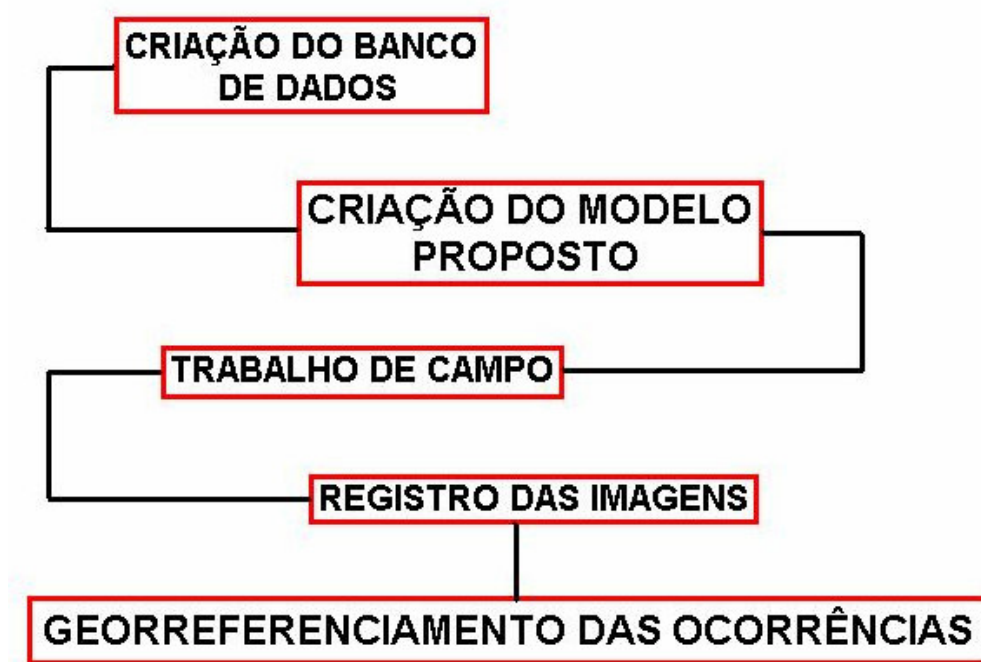


Figura 3: Sequência do trabalho

3.1 MATERIAIS

Para desenvolvimento do trabalho e criação do Projeto, foram utilizados, como parte principal do estudo imagens LANDSAT, do Município de Lagoa Santa – MG, o software SPRING, boletins de ocorrência do Grupo de Polícia Militar de Meio Ambiente de Lagoa Santa, fotografias digitais, aparelhos GPS de navegação e arquivos de mapas vetorizados do Estado de Minas Gerais produzidos pelo GEOMINAS, baixados pela Internet (www.geominas.mg.gov.br).

3.1.1 PRODUTO DIGITAL

Foram usadas imagens dos satélites LANDSAT 5 e 7. O LANDSAT 5 carrega o sensor de segunda geração denominado “Thematic Mapper” (TM), que opera em sete bandas espectrais das quais, para este trabalho, foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 (www.engesat.com.br/satelites/landsat5.htm).

A imagem original adquirida junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP, é de 09/09/2001, da órbita-ponto 218-74 com espaçamento entre pixel de 25 x 25 metros, GeoTiff, distribuída em CD-ROM.

O LANDSAT 7 carrega o sensor denominado “Enhanced Thematic Mapper Plus” (ETM+), que opera em oito bandas espectrais das quais foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 (www.engesat.com.br/satelites/landsat7.htm).

A Figura 4 representa a comparação entre as bandas espectrais do Landsat 5 e 7.

Sensor	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8
Landsat 5 TM	0.45 0.52	0.52 0.60	0.63 0.69	0.76 0.90	1.55 1.75	10.4 12.5	2.08 2.35	
Landsat 7 ETM+	0.45 0.52	0.53 0.61	0.63 0.69	0.78 0.90	1.55 1.75	10.4 12.5	2.09 2.35	0.52 0.90

Figura 4: Valores em μ , representando os limites de comprimentos de onda de sensibilidade das bandas espectrais do Sensor TM (Landsat 5) e do Sensor ETM+ (Landsat 7).

A imagem original adquirida junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP, é de 11/08/1999, da órbita-ponto 218-74 com espaçamento entre pixel de 25 x 25 metros, GeoTiff, distribuída em CD-ROM.

Equipamentos de Processamento e de Apoio

Uma unidade de processamento micro computador Pentium III 1.7 Gh, 256 MB RAM, com um monitor SVGA 17" , unidade de CD-ROM 60x e impressora a laser.

Aparelho GPS de navegação marca Garmim, modelo 12 XL.

3.1.2 APLICATIVOS

SPRING versão 3.6.03, IMPIMA versão 3.6.03, SCARTA versão 3.6.03 e IPLOT versão 3.6.03, todos for Windows.

Os boletins de ocorrência, em formato WORD, e fotografias digitais, referentes às ocorrências, em formato GIF e JPG.

Os mapas vetorizados dos municípios, hidrografia e malha viária de Minas Gerais que foram adquiridos pela Internet, do Site do GEOMINAS, estão em formato SHAPEFILE,

e foram usados como referência para reconhecimento do limite do Município de Lagoa Santa, bem como os principais rios e rodovias.

3.2 SEQUÊNCIA METODOLÓGICA

3.2.1 CRIAÇÃO DO BANCO DE DADOS

O sistema de Banco de Dados em uso pela Polícia Militar de Minas Gerais não oferece os recursos necessários para utilização no SIG proposto. As ocorrências são cadastradas apenas por endereço de logradouro, dificultando e em muitos casos impedindo o cadastramento correto das ocorrências registradas pelas Companhias de Meio Ambiente, que são atendidas em grande quantidade no meio rural (distritos, lugarejos, leito e margem de rios, interior de matas, rodovias, etc.).

Tal sistema está sendo substituído, e para tanto foi necessário desenvolver um modelo de saída de dados que pudesse ser reconhecido pelo SPRING e usado no SIG.

Como teste, foram gerados vários arquivos e planilhas contendo os dados necessários para plotagem das ocorrências e atualização de suas tabelas de atributos. Originariamente as planilhas foram criadas em formato WORD (Tabela 1), contendo dados resumidos das ocorrências atendidas. Aliados a estas planilhas foram gerados, também, Boletins de Ocorrência digitalizados, em formato WORD e fotos digitais das ocorrências em formato JPG ou GIF.

Tabela 1: Modelo criado para formação inicial do Banco de Dados – Formato Word

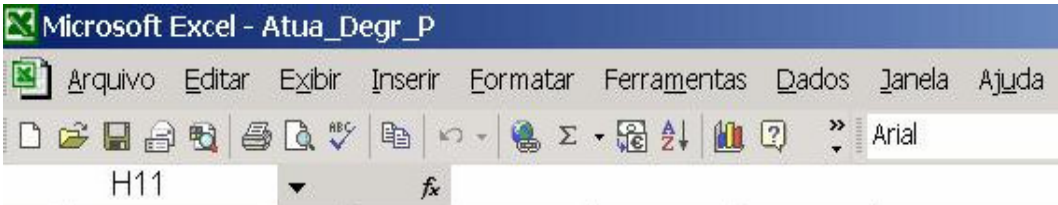
CONTROLE E IDENTIFICAÇÃO DE OCORRÊNCIAS E PONTOS DE FISCALIZAÇÃO DA 7ª CIA PM MAMB
COORDENADAS GEOGRÁFICAS – SISTEMA DE GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL
PELOTÃO: 1ª Pel/7ª Cia PM MAMB GPM MAMB: Lagoa Santa

Nº DO B.O	DATA	SETOR	MUNICÍPIO	DESCRIÇÃO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
					LATITUDE	LONGITUDE
142915	06/03/02	flora	Lagoa Santa	Atendimento denúncia flora	19 37 03.2	43 02 11.4
153726	11/03/02	flora	Lagoa Santa	Atendimento denúncia flora	19 32 31.6	43 56 33.8
160804	13/03/02	flora	Lagoa Santa	Fiscalização setor flora	19 24 32.6	43 49 27.7
170217	17/03/02	flora	Lagoa Santa	Fisc. área deg. ambiental	19 36 44.6	43 51 12.1
170221	17/03/02	flora	Lagoa Santa	Fisc. área deg. ambiental	19 36 44.6	43 51 12.1
174644	19/03/02	flora	Lagoa Santa	Atendimento denúncia flora	19 30 23.6	43 55 1.7
174690	19/03/02	flora	Lagoa Santa	Fiscalização local de queimada	19 36 44.6	43 51 12.1
176754	20/03/02	flora	Lagoa Santa	Fiscalização local de desmate	19 26 15.2	43 39 58.1

As planilhas geradas em WORD foram transformadas em formato EXCEL (Tabelas 2 e 3) onde foram organizadas na sequência requerida pelo Sistema. Feito isto, os dados


foram importados para um arquivo de texto (formato TXT) onde recebeu a formatação adequada, como cabeçalho, espaçamento, fonte (Figuras 3 e 4). Feito estes procedimentos, o arquivo texto deve ter sua extensão TXT substituída por SPR, estando pronto para ser importado para dentro do Banco de Dados do SIG.

Tabela 2: Modelo da tabela para organização dos dados a serem plotados



	A	B	C	D	E
1	43 47 30.8	19 42 47.2	114865	114865	Degradação
2	43 57 59.2	19 40 02.0	138951	138951	Degradação
3	43 57 59.2	19 40 02.0	160633	160633	Degradação
4	43 52 08.9	19 40 29.0	214394	214394	Degradação

Tabela 3: Modelo da tabela para organização dos dados a serem atualizados na tabela de atributos



	A	B	C	D	E
1	114865	114865	22/02/02	Lagoa Santa	Autuação em local de extração de areia
2	138951	138951	04/03/02	Lagoa Santa	Fiscalização extração de areia
3	160633	160633	13/03/02	Lagoa Santa	Fiscalização extração de areia
4	214394	214394	05/04/02	Lagoa Santa	Fiscalização de extração de cascalho

```

POINT2D
INFO
//Ponto 2D e Identificadores se Ponto Classificado
//Arquivo ASCII gerado pelo Sistema SPRING
//Projeto: 7_Cia_MAmb - Plano de informação: Degradação
//Categoria: MUNICÍPIOS - Modelo: CADASTRALMODEL
DATUM SAD69, 6378160.000000, 0.003353, 0.000000, 0.000000, 0.000000
PROJECTION UTM/SAD69, 1, 0.000000, -0.785398, 0.000000, 0.000000
BOX o 51 0 0.00, s 22 0 0.00, o 39 0 0.00, s 14 0 0.00
UNITS Geográficas
SCALE 20000.000000
SEPARATOR ;
//Formato coordx ; coordy ; label ; name ; category_obj
INFO_END
o 43 47 30.8 ; s 19 42 47.2 ; 114865 ; 114865 ; Degradação
o 43 57 59.2 ; s 19 40 02.0 ; 138951 ; 138951 ; Degradação
o 43 57 59.2 ; s 19 40 02.0 ; 160633 ; 160633 ; Degradação
o 43 52 08.9 ; s 19 40 29.0 ; 214394 ; 214394 ; Degradação
END

```

Figura 5: Modelo final para plotagem das ocorrências por coordenadas geográficas

```

TABLE
INFO
//Tabela de Atributos ASCII gerada pelo Sistema SPRING
SEPARATOR ;
UNFORMATED
CATEGORY_OBJ      Degradação
T_KEY ; TEXT ; 12 ; 0
T_NAME ; TEXT ; 12 ; 0
DATAFATO ; TEXT ; 12 ; 0
NOMMUNI ; TEXT ; 30 ; 0
FATO ; TEXT ; 80 ; 0
INFO_END
114865 ; 114865 ; 22/02/02 ; Lagoa Santa ; Autuação em local de extração de areia
138951 ; 138951 ; 04/03/02 ; Lagoa Santa ; Fiscalização extração de areia
160633 ; 160633 ; 13/03/02 ; Lagoa Santa ; Fiscalização extração de areia
214394 ; 214394 ; 05/04/02 ; Lagoa Santa ; Fiscalização de extração de cascalho
END

```

Figura 6: Modelo final para atualização da tabela de atributos

Após os testes, foi definido o modelo de arquivo de texto em formato ASCII-SPRING, do Sistema SPRING, apropriado para o SIG desenvolvido conforme Figuras 3 e 4. A vantagem de tal arquivo é a sua flexibilidade na entrada de novos atributos, que pode ocorrer a qualquer momento, independente da existência previa de tal dado.

No novo sistema de Banco de Dados a ser usado pela Polícia Militar de Minas Gerais, a partir do ano de 2.003, tais procedimentos serão bem mais simples, uma vez que está sendo projetado a saída dos dados já no formato aceito pelo SIG desenvolvido.

3.2.2 CRIAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Após a organização do Banco de Dados e a elaboração de um arquivo de saída compatível com o SPRING, foi criado, dentro do ambiente do SPRING, um banco de dados intitulado SIG Meio Ambiente, com gerenciador de banco de dados Access (Figura 7).

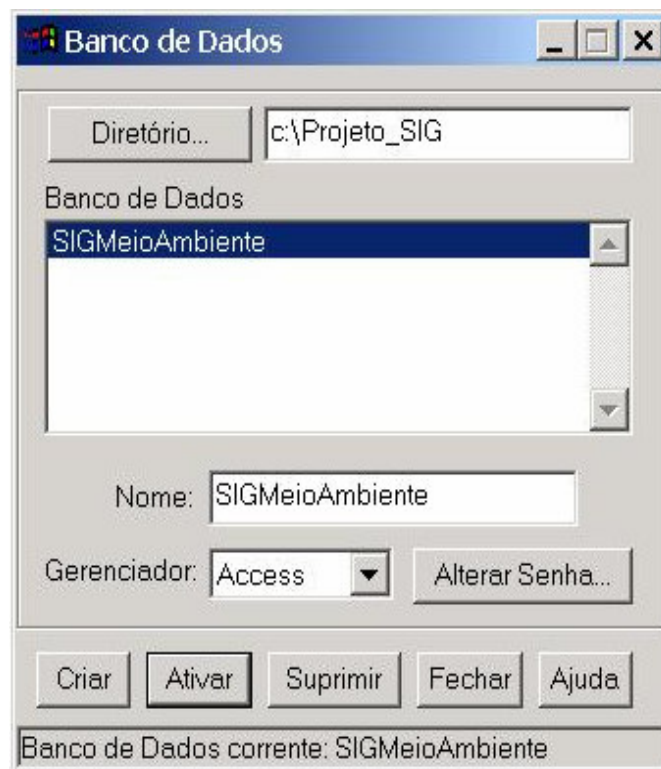


Figura 7: Janela Banco de Dados

Criado o Banco de Dados SIG Meio Ambiente, foi então definido a área de trabalho para o estudo de caso, previamente estabelecido como sendo o Município de Lagoa Santa. Para definição desta área de trabalho, criou-se um projeto que recebeu o nome de Lagoa Santa. Na criação deste projeto, foi definido o sistema de projeções, como Sistema UTM, Modelo da Terra SAD/69 e Longitude de origem "o 45 0 0.00". O retângulo envolvente do projeto foi definido pelas coordenadas geográficas Long1: o 44 1 18.00, Long2: o 43 46 11.00, s 19 42 34.00 e Lat2: s 19 31 11.00 (Figura 8).

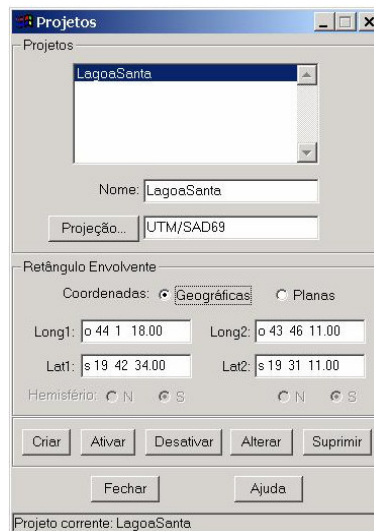


Figura 8: Janela Projetos

Criado o projeto, foi definido o Modelo de Dados, sendo criado as seguintes Categorias no Modelo Cadastral: Hidrografia, que contem os principais cursos d'água do Estado de Minas Gerais; Municípios, que possui a divisão municipal de Minas Gerais; Malha Viária, com as principais rodovias federais e estaduais de Minas Gerais e Ocorrências, contendo as ocorrências registradas pelo Grupo de Polícia Militar de Meio Ambiente de Lagoa Santa no Município, no período de 01/01/2002 a 30/06/2002. No Modelo Temático foram definidas duas categorias: Mudança_Uso_Solo_99 e Mudança_Uso_Solo_01. Foi definida, também, uma Categoria, no Modelo Imagem, com o nome de Imagem, possuindo imagens de satélite da área de trabalho (Figura 9).

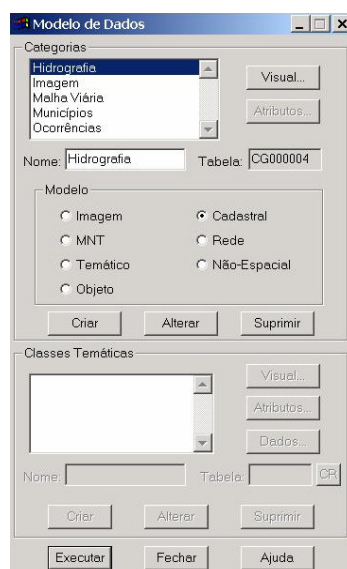


Figura 9: Janela Modelo de Dados

Após a criação do Modelo de Dados, foram criados os Planos de Informação (PI), definidos de acordo com cada categoria (Figura 10). Para Hidrografia, foi criado o PI Hidro; para Malha Viária, o PI Rodov; para Municípios, o PI DivMunic; para Ocorrências, os PI's Fauna, Flora, Pesca e Degradação; para Mudança_Uso_Solo_99, o PI Uso_Solo1999-T; para Mudança_Uso_Solo_01, os PI's Uso_Solo2001-T, Uso_Solo99_2-T e Área_Desmatada_1999-2001 e para Imagem, os PI's Uso_Solo_99, Uso_Solo_01, LS_99_Sint, LS_01_Sint, LS_99_B3,B4,B5 e LS_01_B3,B4,B5.



Figura 10: Janela Planos de Informação

Após a modelagem do Banco de Dados e criação do Projeto, com a definição das Categorias e Planos de Informação, foram desenvolvidos os trabalhos de importação de imagens e vetores para tratamento dentro do Sistema.

3.2.3 TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo realizado teve como objetivo principal, colher coordenadas geográficas de feições conhecidas do terreno e facilmente reconhecidas na imagem, para que fossem utilizados como pontos de controle para o registro das imagens de satélite.

Outro objetivo do trabalho de campo foi, depois de concluído os trabalhos de identificação de áreas desmatadas, conferir os dados e verificar a confiabilidade do Sistema desenvolvido, tendo como exemplo, a checagem do desmate localizado na Figura 30 (a). O ponto realmente corresponde a um local de desmate, tendo, inclusive, sido localizado pelo Grupo de Polícia Militar de Meio Ambiente de Lagoa Santa em data de 26 de junho de 2.002, conforme anexo único.

3.2.4 REGISTRO DAS IMAGENS

O registro de uma imagem compreende uma transformação geométrica que relaciona coordenadas de imagem (linha, coluna) com coordenadas de um sistema de referência. No SPRING este sistema de referência é, em última instância, o sistema de coordenadas planas de uma certa projeção cartográfica. Como qualquer projeção cartográfica guarda um vínculo bem definido com um sistema de coordenadas geográficas, pode-se dizer então que o registro estabelece uma relação entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas.

Outros termos comuns para a designação do procedimento de registro são geocodificação e georreferenciamento. É importante, contudo, fazer uma distinção clara entre registro e correção geométrica. O processo de correção geométrica de imagens elimina as distorções geométricas sistemáticas introduzidas na etapa de formação das imagens, enquanto o registro apenas usa transformações geométricas simples (usualmente transformações polinomiais de 1º e 2º graus) para estabelecer um mapeamento entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas.

O registro é uma operação necessária para se fazer a integração de uma imagem à base de dados existente num SIG. O registro também é importante para se combinar imagens de sensores diferentes sobre uma mesma área ou para se realizar estudos multi-temporais, caso em que se usam imagens tomadas em épocas distintas (INPE, 2002).

Para o registro das imagens usadas, foram colhidas as coordenadas em campo, com um GPS de navegação, sendo feito primeiramente o registro da imagem LANDSAT 7 usando a entrada de dados via teclado. Posteriormente foi feito o registro da imagem LANDSAT 5 tendo como referência a imagem LANDSAT 7 já registrada. Neste segundo procedimento, a entrada dos dados foi via tela.

3.2.5 GEORREFERENCIAMENTO DAS OCORRÊNCIAS

As ocorrências foram georreferenciadas pelas coordenadas geográficas colhidas, pelo Policial Militar, no local do fato. Os dados foram transcritos e armazenados em planilhas, que posteriormente foram trabalhadas conforme descrito no item 3.2.1. Após ser gerado o arquivo ASCII-SPRING, contendo todos os dados de localização da ocorrência, este foi importado para o Sistema em forma de ponto sendo posteriormente agregado uma tabela de atributos com dados complementares.

Dentro do Projeto, foi criada uma categoria denominada OCORRÊNCIAS, com 04 (quatro) planos de informação: Degradação, Fauna, Flora e Pesca, que referem-se a divisão de setores de ocorrências atendidas adotado pelo Policiamento de Meio Ambiente.

Para dentro de cada plano de informação foram importados os arquivos correspondentes às ocorrências de cada setor.

As ocorrências estão separadas visualmente, na imagem, pelas seguintes cores: Degradação, cor amarela (yellow 1); Fauna, cor vermelha (red 7); Flora, cor rosa (magenta 1) e Pesca, cor azul (blue 7).

Por haver uma tabela de atributos agregada ao ponto, é possível efetuar consultas por ocorrência, via tela (na imagem) ou pela própria tabela (PAIVA, 2002). O resultado da consulta é uma tabela resumida, onde foi criado um *link* com um banco de dados acessório, com arquivos de texto, imagem e endereço na Internet, conforme figura 11 a seguir:

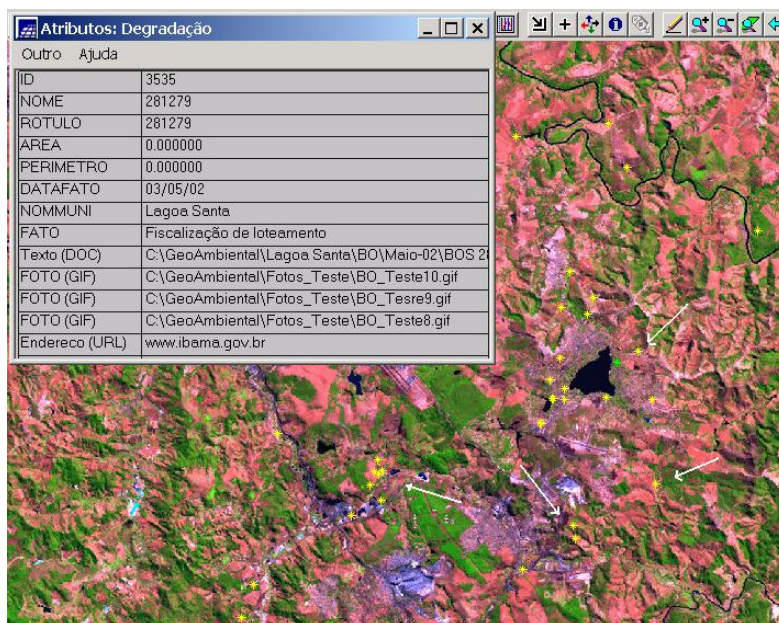


Figura 11: Consulta de ocorrências na tela

Na figura 11, ocorrências plotadas por coordenadas geográficas, com tabela de consulta. Os pontos em amarelo referem-se às ocorrências existentes, sendo que o ponto verde próximo à lagoa é a ocorrência consultada.

Tabela 4: Atributos que compõe o arquivo de pontos plotados. Em destaque a ocorrência consultada na figura acima.

Tabela: Degradação					
Arquivo Mostrar Ajuda					
	ID	ROTULO	DATAFATO	NOMMUNI	FATO
1	3525	114865	22/02/02	Santa Luzia	Autuação em local de extração de areia
2	3526	138951	04/03/02	Confins	Fiscalização extração de areia
3	3527	160633	13/03/02	Confins	Fiscalização extração de areia
4	3528	214394	05/04/02	Lagoa Santa	Fiscalização de extração de cascalho
5	3529	226541	10/04/02	Matozinhos	Derramamento de efluentes de fossa séptica
6	3530	243390	17/04/02	Santa Luzia	Fiscalização extração de areia
7	3531	243395	17/04/02	Santa Luzia	Fiscalização de extração de areia
8	3545	249879	10/05/02	Santa Luzia	Implantação de Loteamento
9	3550	249881	20/04/02	Santa Luzia	Implantação de Loteamento
10	3516	2545	02/11/2002	Lagoa santa	Extração de areia
11	3532	263915	26/04/02	Santa Luzia	Fiscalização de extração de areia
12	3519	26803	13/11/2002	Vespasiano	Atendimento de denuncia
13	3533	279096	02/05/02	Santa Luzia	Fiscalização de Loteamento
14	3534	279630	02/05/02	Santa Luzia	Intervenção em APP
15	3535	281279	03/05/02	Lagoa Santa	Fiscalização de loteamento
16	3536	281367	03/05/02	Lagoa Santa	Fiscalização de loteamento
17	3537	281370	03/05/02	Lagoa Santa	Fiscalização de loteamento
18	3538	284790	04/05/02	Lagoa Santa	Fiscalização de Loteamento

De forma rápida e simples, é possível, através da tabela resumida de atributos, visualizar o boletim de ocorrência registrado, as fotos digitais, qualquer documento ou arquivo digital ou até mesmo um endereço na Internet (Tabela 5 e Figuras 10 e 11).

Abaixo será apresentado o modo de exibição do boletim de ocorrência e das fotografias digitais:

Tabela 5: Tabela de atributo: modo exibir o boletim de ocorrência

Atributos: Degradação	
Outro Ajuda	
ID	3535
ROTULO	281279
DATAFATO	03/05/02
NOMMUNI	Lagoa Santa
FATO	Fiscalização de loteamento
Texto (DOC)	C:\Programas\BOS\Lagoa Santa\BO\Maio-02\BOS 281279.doc
FOTO (GIF)	C:\Programas\BOS\BOS_Teste\BO_Teste10.gif
FOTO (GIF)	C:\Programas\BOS\BOS_Teste\BO_Teste9.gif
FOTO (GIF)	C:\Programas\BOS\BOS_Teste\BO_Teste8.gif
Endereco (URL)	

Operações
Exibir
Inserir
Remover

PMMG BOLETIM DE OCORRÊNCIA									
Nº	OPM	DATA	NAT	VP	S/SETOR	H/TRANS	H/NICIO	H/TERM	
281279	1666	03/05/02	114000	7904	-	-	09:58	10:20	
LOCAL DA OCORRÊNCIA									
END	MG 10 Km 36			BAIRRO	centro		MUN.	Lagoa Santa	
PESSOAS ANOTADAS									
Emp.	NOME			IDADE	FONE				
END	Rua Acad. Nili Figueiredo			Nr	BAIRRO		Jardim Ipê		
Anotado	NOME			IDADE	FONE				
END	Rua Pinto Alves			Nr	BAIRRO		Vila Maria		
	NOME			IDADE	FONE				
END				Nr	BAIRRO				
DESTINATÁRIO									
Sr(a)	Cmt da 7ª Cia PFla								
HISTÓRICO RESUMIDO DO FATO									
<p><i>Durante patrulha ambiental no município de Lagoa Santa comparecemos ao loteamento denominado Residencial Solarium onde no local foi detectado implantação de loteamento com aberturas de vias, onde no momento da fiscalização, não foi encontrado o proprietário do empreendimento, sendo lavrado uma notificação do IBAMA n.º 153444-A fixando o mesmo de apresentar em data de 08/05/02 às 08:00 horas, toda documentação referente ao empreendimento. Coordenadas Geográficas do local: S19°38'00.3" - W043°52'58.6". Sem mais registro para vosso conhecimento.</i></p>									

Figura 12: Recorte do boletim de ocorrência registrado



Figura 13: Fotografia digital da ocorrência registrada

Este recurso é fundamental para pesquisa de ocorrências e principalmente para localização espacial de cada fato. Sabendo, pela visualização na imagem de satélite, onde está havendo maior incidência de determinado tipo de delito ou infração contra o meio ambiente, o Comandante da Fração responsável pelo policiamento na região poderá priorizar aquelas áreas mais críticas, escalando as patrulhas onde realmente tem ocorrido os fatos.

A tabela de atributos poderá ser alimentada com quaisquer dados que sejam comuns ou não em todos ou boletins de ocorrências, conforme a demanda de cada localidade.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Esta seção apresenta os resultados obtidos pela pesquisa, com situações concretas de identificação de áreas desmatadas através da comparação de imagens de satélites, do Município de Lagoa Santa, em épocas distintas.

4.1 LOCALIZAÇÃO DE ÁREAS DESMATADAS (DEGRADADAS)

Tomando por base as imagens do satélite LANDSAT de 1999 (Figura 14) e de 2001 (Figura 16), foi feita a classificação das imagens com 04 (quatro) temas, Vegetação, Solo Exposto, Área Urbana e Água, para cada imagem (Figuras 15 e 17).

Através do recurso de “acoplar telas” existente no painel de controles do SPRING, foi feita a localização visual de mudanças no uso do solo entre as imagens de 1999 e de 2001.

Para comprovar os resultados, o procedimento foi repetido entre as 02 (duas) imagens classificadas (Figuras 15 e 17) e posteriormente entre as imagens classificadas e as imagens de satélite.

O recurso de “acoplar telas” existente no SPRING permite que duas imagens de uma mesma área sejam acopladas ou sobrepostas para análise visual. Após as imagens terem sido acopladas, uma pequena área deve ser selecionada com o cursor do *mouse* que percorrendo toda a imagem mostra, na área selecionada, os detalhes da imagem que está por baixo.

Outra boa aplicação para o recurso de “acoplar telas” é a verificação do registro de imagens. Usando os métodos já descritos, depois de feito o registro da imagem por outra ou por carta escaneada, é possível verificar os resultados obtidos.

Após a localização visual das áreas degradadas, como descrito, foi feita a classificação das imagens, sendo feito a comparação destas classificações em épocas distintas. Para os locais onde havia indicação de degradação, foram feitas novas verificações entre as imagens de satélite e as imagens classificadas, com a finalidade de comprovar todos os pontos localizados.



Figura 14: Imagem LANDSAT 7 de 11/08/1999 do Município de Lagoa Santa. Composição 3B4G5R com contraste.

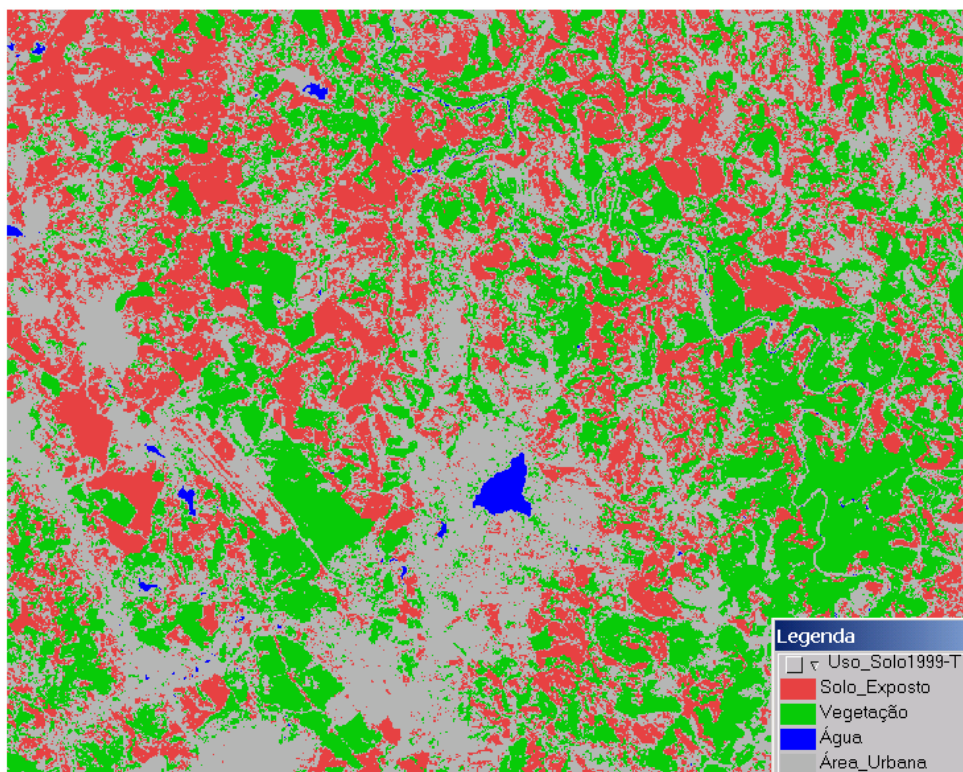


Figura 15: Imagem classificada do Uso do Solo do Município de Lagoa Santa – MG gerado a partir da imagem LANDSAT 7 de 11/08/1999. Composição 3B4G5R.



Figura 16: Imagem LANDSAT 5 de 09/09/2001 do Município de Lagoa Santa. Composição 3B4G5R com contraste.

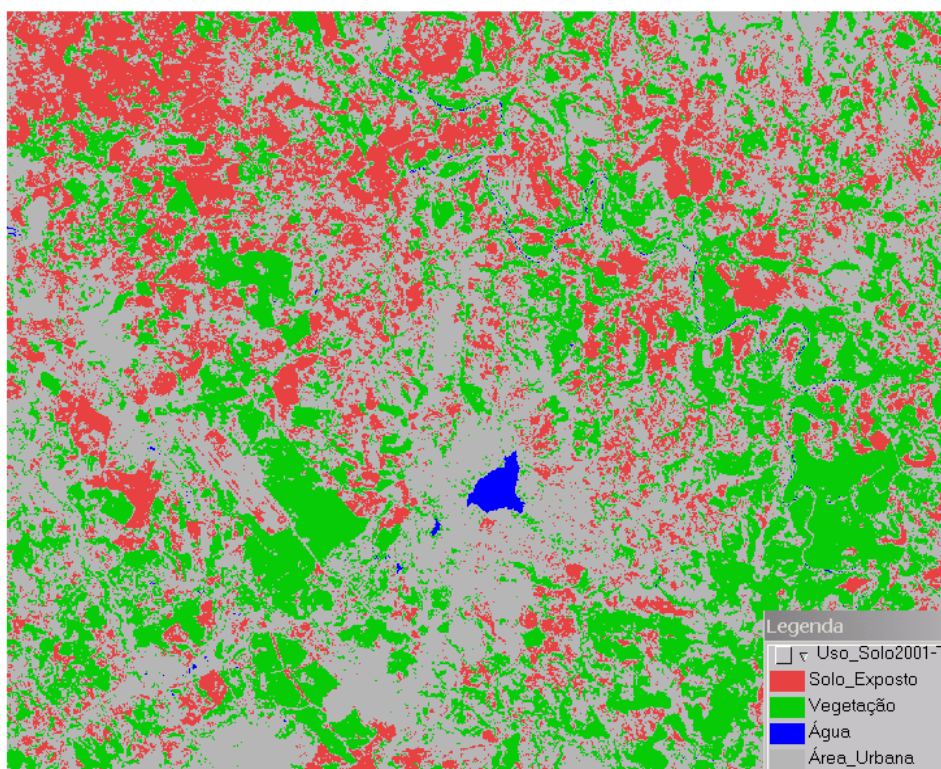


Figura 17: Imagem classificada do Uso do Solo do Município de Lagoa Santa – MG gerado a partir da imagem LANDSAT 5 de 09/09/2001. Composição 3B4G5R.

4.2 CALCULO DE PRECISÃO DAS CLASSIFICAÇÕES

4.2.1 USO DO SOLO 1999

As Tabelas 6 e 7 e Figura 18 apresentam os erros de classificação para áreas de Treinamento, enquanto que as Tabelas 8 e 9 e Figura 19 referem-se às áreas de Teste.

Tabela 6: Matriz de erro de classificação - Aquisição - Uso do Solo 1999

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO

(colunas: dados de referencia)

	Vegetação	Solo_Expos	Área_Urban	Água	Abstencao	Soma lin.
Vegetação	2392 31.64%	0 0.00%	29 0.38%	0 0.00%	0 0.00%	2421
Solo_Expos	0 0.00%	2149 28.43%	118 1.56%	0 0.00%	0 0.00%	2267
Área_Urban	7 0.09%	54 0.71%	2104 27.83%	0 0.00%	0 0.00%	2165
Água	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	706 9.34%	0 0.00%	706
Soma col.	2399	2203	2251	706	0	7559

Tabela 7: Exatidão da classificação – Aquisição - Uso do Solo 1999

	Exatidao do produtor	Exatidao do usuario
Vegetação	99.71%	98.80%
Solo_Expos	97.55%	94.79%
Área_Urban	93.47%	97.18%
Água	100.00%	100.00%



Figura 18: Resultados - Aquisição - Uso do Solo 1999

Tabela 8: Matriz de erro de classificação – Teste - Uso do Solo 1999

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO

(colunas: dados de referencia)

	Vegetação	Solo_Expos	Área_Urban	Água	Abstencao	Soma lin.
Vegetação	816 22.13%	0 0.00%	55 1.49%	0 0.00%	0 0.00%	871
Solo_Expos	0 0.00%	724 19.64%	12 0.33%	0 0.00%	0 0.00%	736
Área_Urban	20 0.54%	54 1.46%	1388 37.65%	0 0.00%	0 0.00%	1462
Água	0 0.00%	0 0.00%	17 0.46%	601 16.30%	0 0.00%	618
Soma col.	836	778	1472	601	0	3687

Tabela 9: Exatidão da classificação - Teste - Uso do Solo 1999

	Exatidao do produtor	Exatidao do usuario
Vegetação	97.61%	93.69%
Solo_Expos	93.06%	98.37%
Área_Urban	94.29%	94.94%
Água	100.00%	97.25%



Figura 19: Resultados - Teste - Uso do Solo 1999

Observou-se boa precisão da classificação, tanto nas áreas de Treinamento quanto nas áreas Teste.

4.2.2 USO DO SOLO 2001

As Tabelas 10, 11 e Figura 20 apresentam os erros de classificação para áreas de Treinamento, enquanto que as Tabelas 12, 13 e Figura 21 referem-se às áreas de Teste.

Tabela 10: Matriz de erro de classificação – Aquisição - Uso do Solo 2001

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO

(colunas: dados de referencia)

	Vegetação	Solo_Expos	Área_Urban	Água	Abstencao	Soma lin.
Vegetação	963 15.64%	0 0.00%	4 0.06%	0 0.00%	0 0.00%	967
Solo_Expos	0 0.00%	1755 28.49%	33 0.54%	0 0.00%	0 0.00%	1788
Área_Urban	6 0.10%	54 0.88%	2859 46.42%	0 0.00%	0 0.00%	2919
Água	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	485 7.87%	0 0.00%	485
Soma col.	969	1809	2896	485	0	6159

Tabela 11: Exatidão da classificação - Aquisição - Uso do Solo 2001

	Exatidao do produtor	Exatidao do usuario
Vegetação	99.38%	99.59%
Solo_Expos	97.01%	98.15%
Área_Urban	98.72%	97.94%
Água	100.00%	100.00%

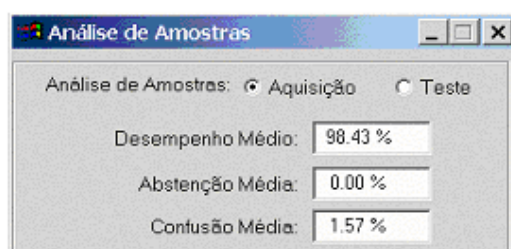


Figura 20: Resultados - Aquisição - Uso do Solo 2001

Tabela 12: Matriz de erro de classificação – Teste – Uso do Solo 2001

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO

(colunas: dados de referencia)

	Vegetação	Solo_Expos	Área_Urban	Água	Abstencao	Soma lin.
Vegetação	929 21.84%	0 0.00%	7 0.16%	0 0.00%	0 0.00%	936
Solo_Expos	0 0.00%	671 15.78%	79 1.86%	0 0.00%	0 0.00%	750
Área_Urban	1 0.02%	54 1.27%	2033 47.80%	0 0.00%	0 0.00%	2088
Água	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	479 11.26%	0 0.00%	479
Soma col.	930	725	2119	479	0	4253

Tabela 13: Exatidão da classificação - Teste - Uso do Solo 2001

	Exatidao do produtor	Exatidao do usuario
Vegetação	99.89%	99.25%
Solo_Expos	92.55%	89.47%
Área_Urban	95.94%	97.37%
Água	100.00%	100.00%

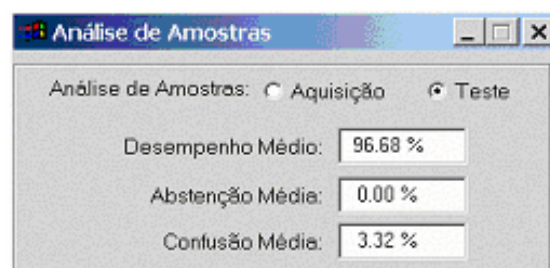


Figura 21: Resultados - Teste - Uso do Solo 2001

Assim como na classificação do Uso do Solo de 1999 observou-se boa precisão da classificação, tanto nas áreas de Treinamento quanto nas áreas Teste.

4.2.3 ANÁLISE DA MUDANÇA DE USO DA COBERTURA DO SOLO

Foi feita a sobreposição do tema Vegetação da imagem classificada do Uso do Solo de 2001 (verde) e do tema Vegetação da imagem classificada do Uso do Solo de 1999 (vermelho), conforme figuras 22 e 23. O que aparece em vermelho é a área desmatada no período.

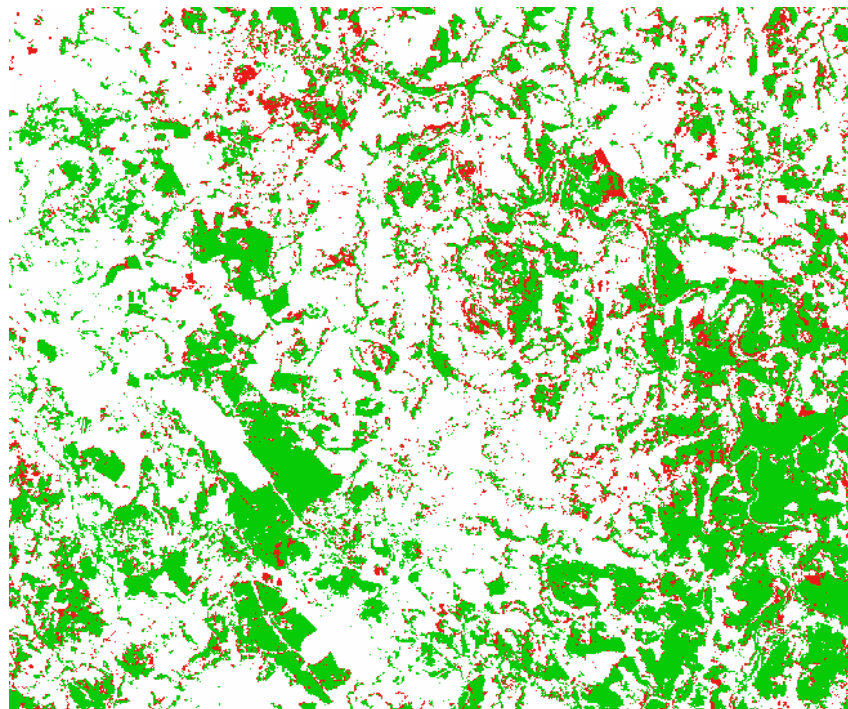


Figura 22: Sobreposição dos temas vegetação de 2001 e 1999

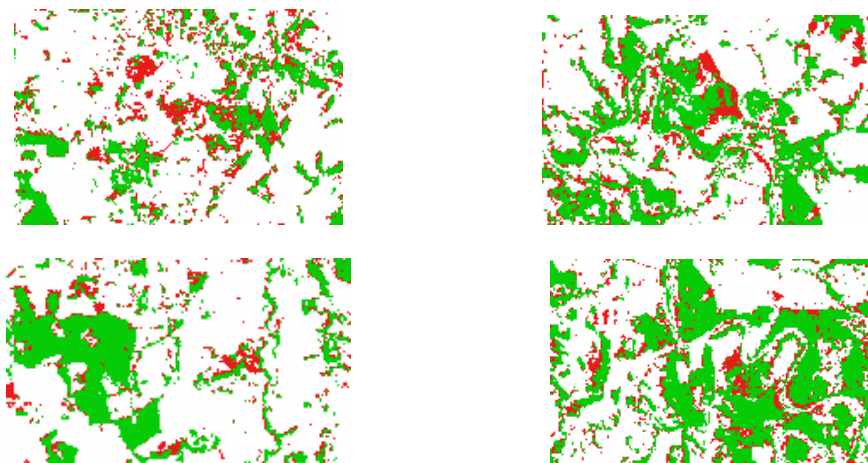


Figura 23: Detalhes extraídos da figura 18. Em vermelho as áreas desmatadas localizadas.

Como no processo anterior, foi feita a sobreposição do tema Vegetação da imagem classificada do Uso do Solo de 1999 (amarelo) e do tema Vegetação da imagem temática do Uso do Solo de 2001 (verde). O que aparece em verde, nas figuras 24 e 25, são as áreas em que houve aumento de vegetação no período.

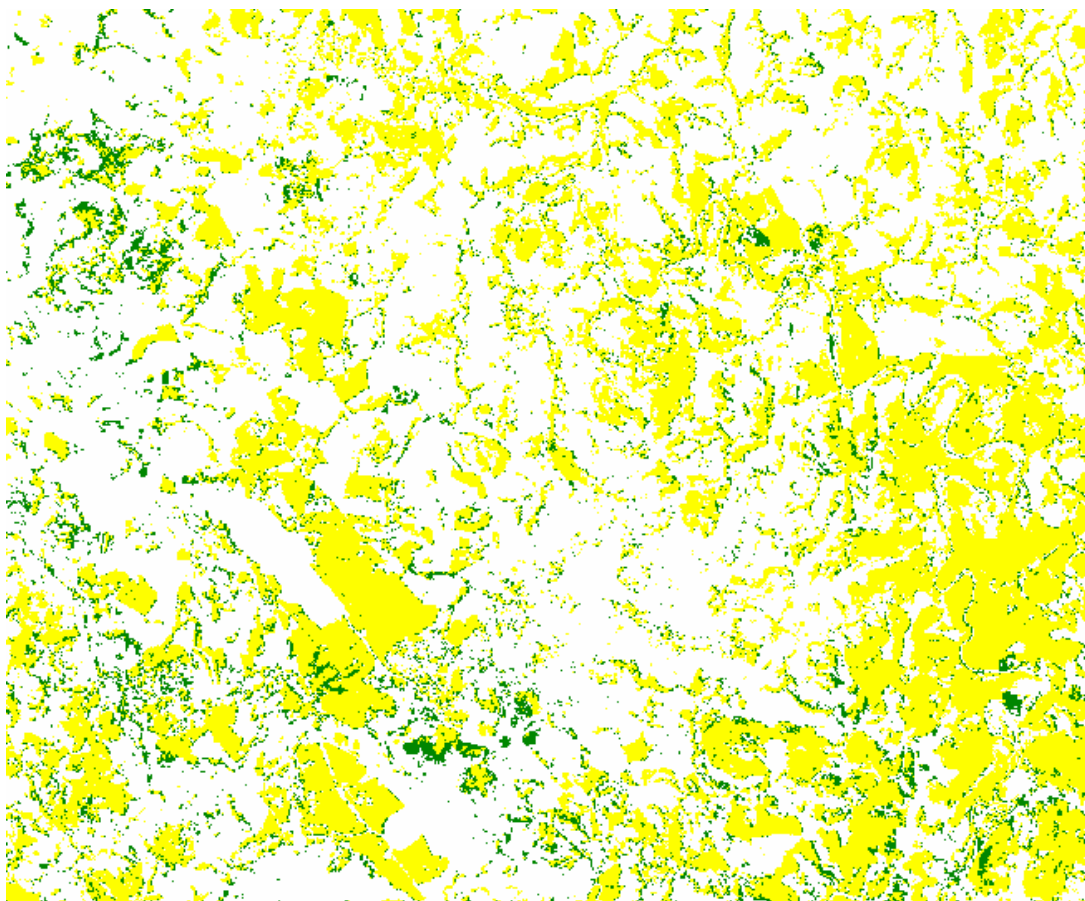


Figura 24: Sobreposição dos temas vegetação de 1999 e 2001



Figura 25: Detalhes extraídos da figura 24. Em verde, áreas onde ocorreu aumento da vegetação do ano de 1999 para 2001.

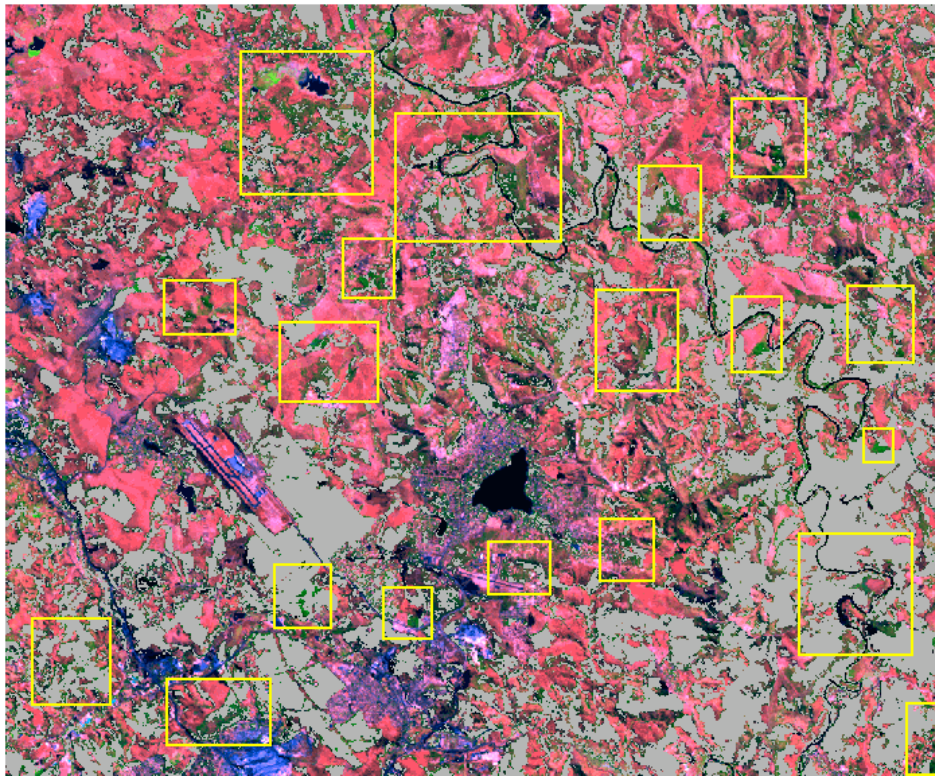


Figura 26: Sobreposição do tema Vegetação (em cinza) da imagem classificada do Uso do Solo de 2001 na imagem LANDSAT 5 de 1999. No detalhe, desmates localizados.

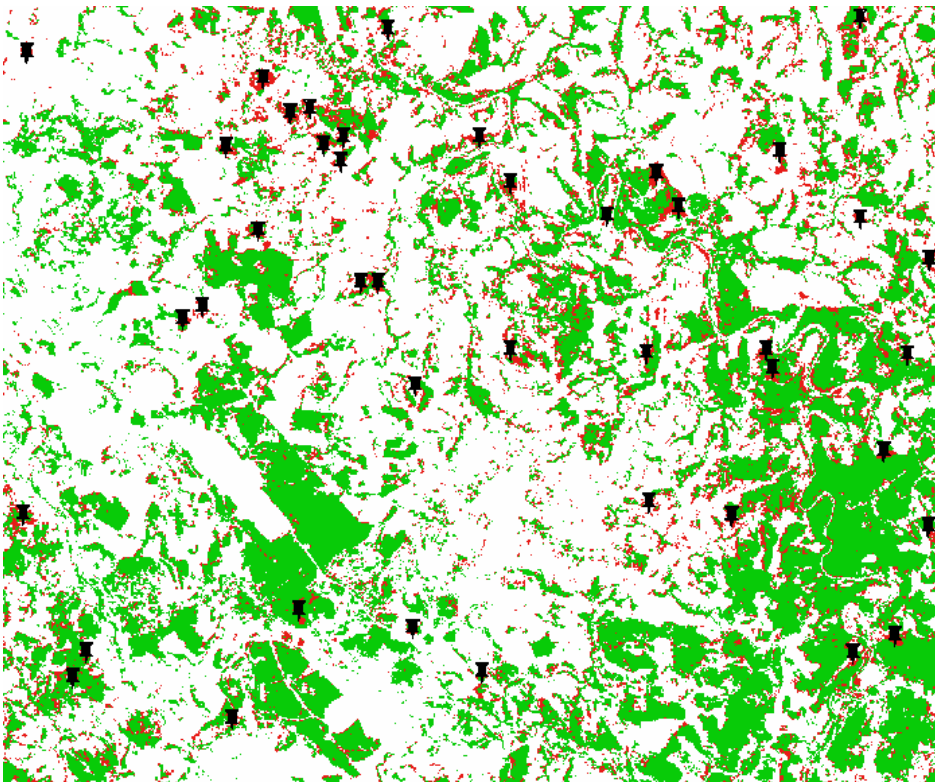


Figura 27: Pontos georreferenciados criados nos locais de desmates identificados.



Figura 28: Pontos georreferenciados dos locais de desmate identificados sobrepostos a imagem LANDSAT 7 de 1999. Nos locais existia vegetação.

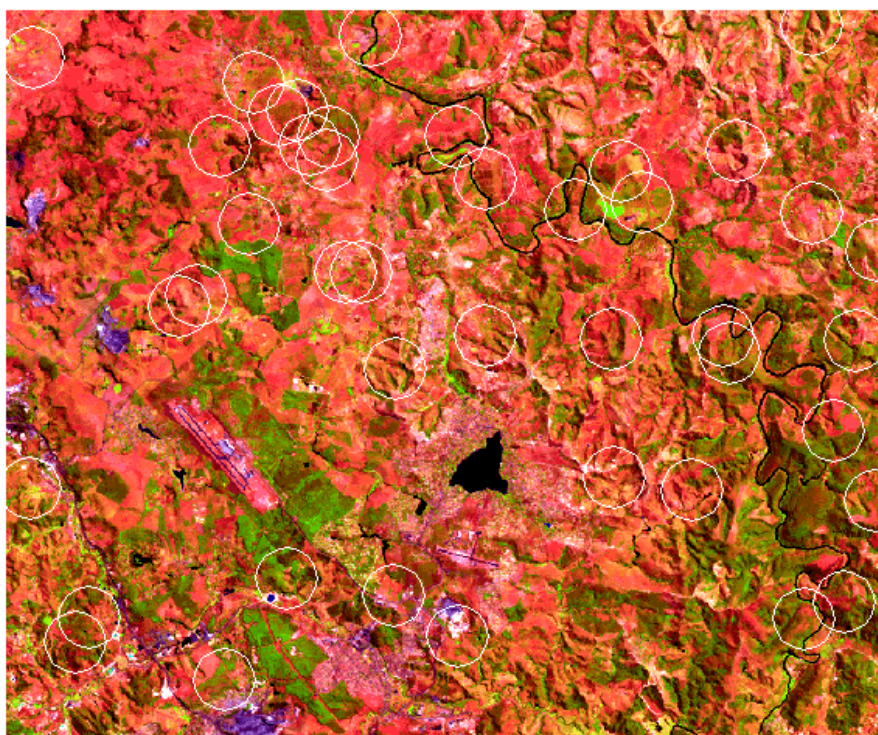


Figura 29: Pontos georreferenciados dos locais de desmate sobrepostos a imagem LANDSAT 5 de 2001, onde já não existe mais vegetação.

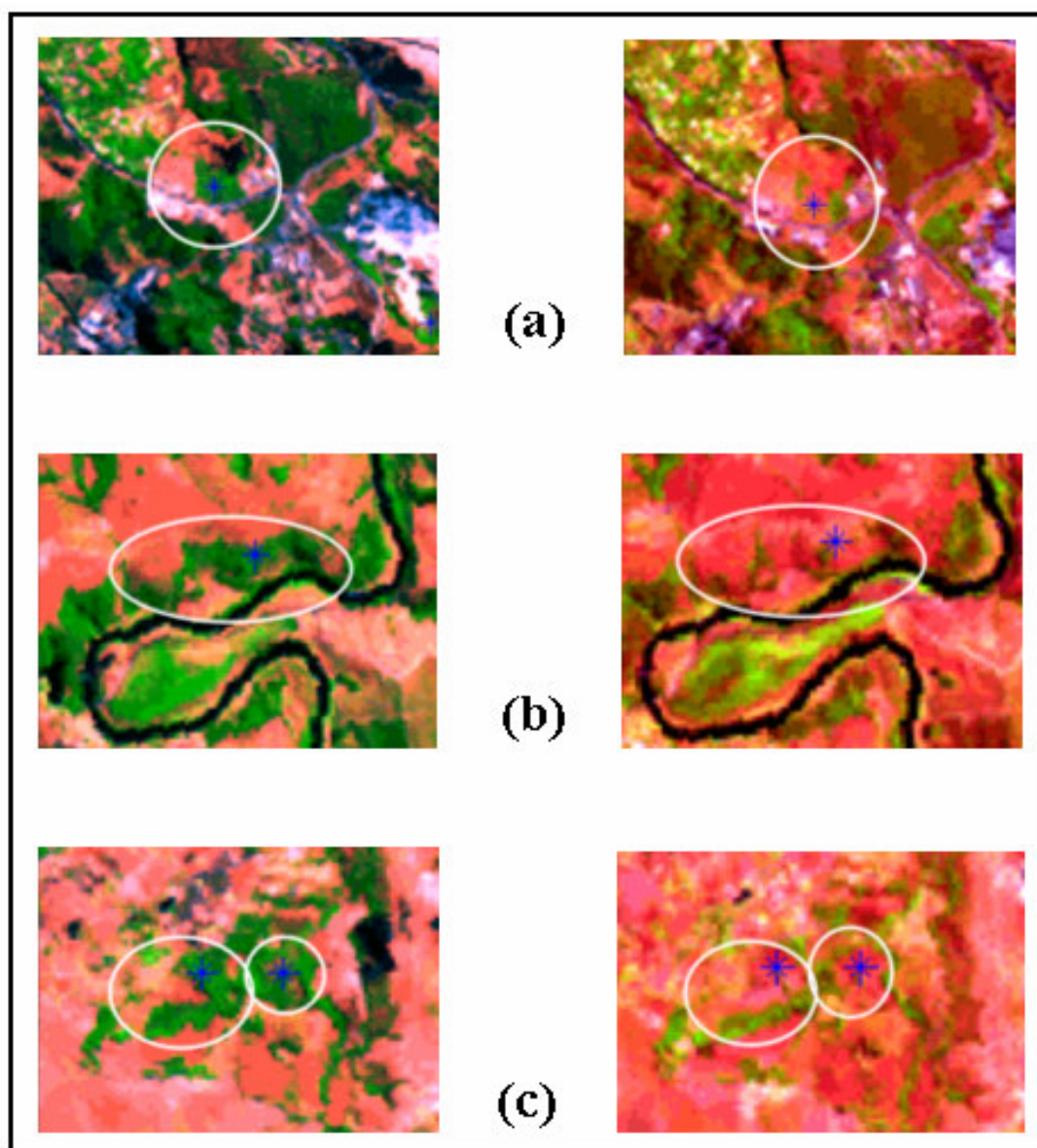


Figura 30: Detalhes da mudança da cobertura vegetal no período de 1999 a 2001. À esquerda, imagem LANDSAT 7 de 1999 e a direita imagem LANDSAT 5 de 2001.

Utilizando a programação em LEGAL (Figura 33), foi gerado um mapa de Área total desmatada no período de 11/08/1999 a 09/09/2001, através do recorte da vegetação existente em 1999 e da existente em 2001 (Figuras 31 e 32). O menor ponto possui área de 625 metros quadrados. Esta medida corresponde à área do pixel, portanto algumas áreas identificadas, deste tamanho, necessitam de maior atenção, pois podem realmente corresponder a um local desmatado ou simplesmente ser um ruído de classificação.

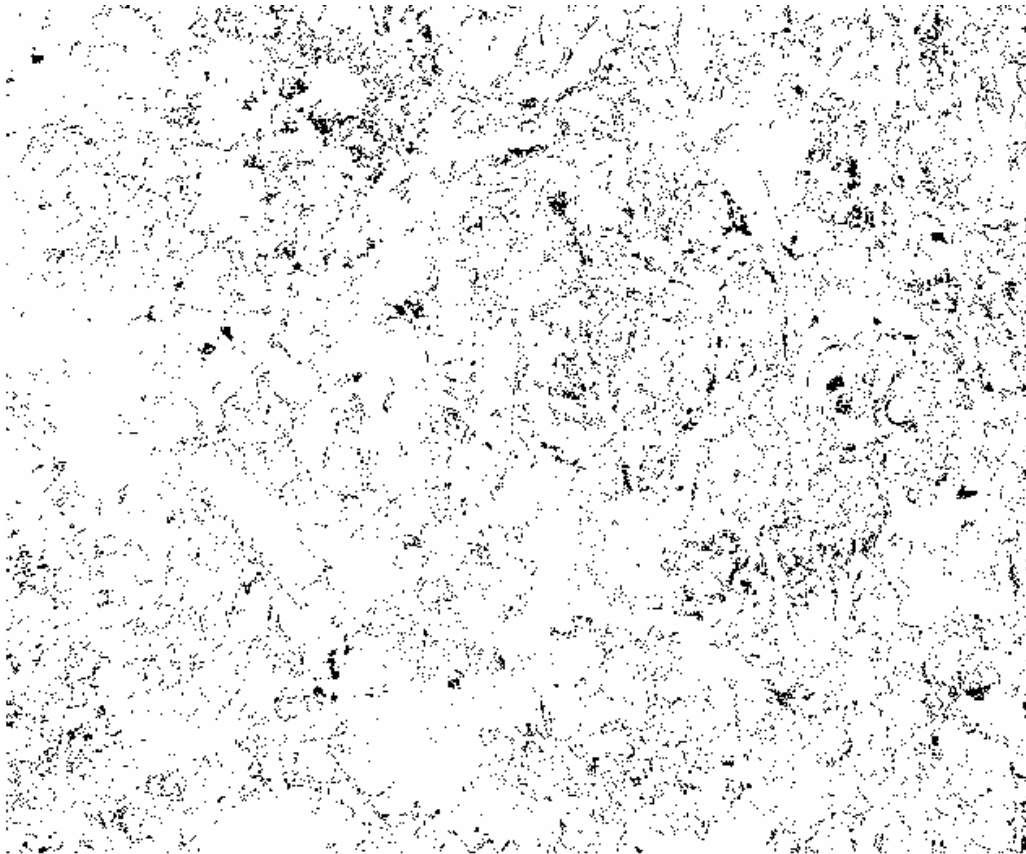


Figura 31: Área total desmatada

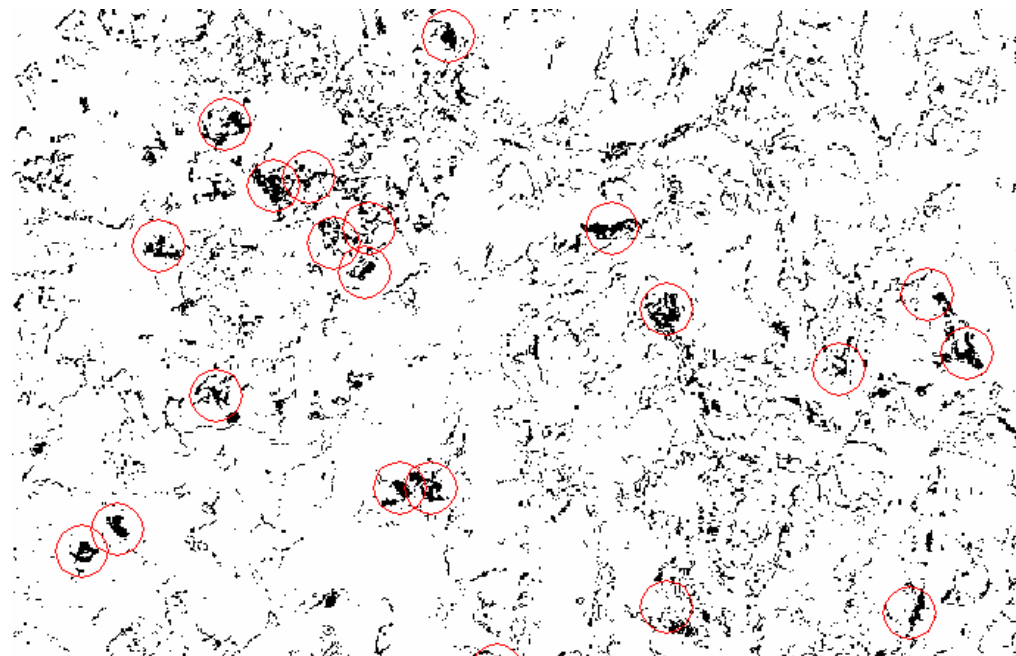


Figura 32: Destaques em locais onde ocorreram mudanças mais críticas na cobertura vegetal.

```

//
//
//
{
  Tematico pi1,pi2,pi3,pi4 ("Mudança_Uso_Solo_01"); //

  pi1 = Recupere(Nome="Uso_Solo2001-T"); //
  pi2 = Recupere(Nome="Uso_Solo99_2-T"); //

  //
  pi3 = Novo(Nome="diferença",ResX=25,ResY=25,Escala=50000.);

  //
  pi3 = ( pi1.Classe!="Vegetação" && pi2.Classe=="Vegetação") ? pi2 : pi3; //
}

```

Figura 33: Programação em LEGAL usada para gerar a diferença entre a vegetação existente em 1999 e a existente em 2001.

Nas áreas onde foram identificados locais mais significativos de desmate e degradações foram criados pontos através da ferramenta de Edição Topológica (Figuras 26, 27, 28, 29, 30 e 32). Estes pontos foram importados para um arquivo de texto, contendo as coordenadas geográficas de cada local (Figura 34).

```

POINT2D
INFO
//Ponto 2D e Identificadores se Ponto Classificado
//Arquivo ASCII gerado pelo Sistema SPRING
//Projeto: LagoaSanta - Plano de informação: Uso_Solo2001-T
//Categoria: Mudança_Uso_Solo_01 - Modelo: THEMATICMODEL
DATUM SAD69, 6378160.000000, 0.003353, 0.000000, 0.000000, 0.000000
PROJECTION UTM/SAD69, 1, 0.000000, -0.785398, 0.000000, 0.000000
BOX o 44 1 18.00, s 19 42 34.00, o 43 46 11.00, s 19 31 11.00
UNITS Geográficas SEPARATOR ;
//Formato coordx ; coordy ; class_name
INFO_END
o 43 57 16.05 ; s 19 32 16.32 ; Desmate
o 43 51 9.67 ; s 19 33 38.16 ; Desmate
o 43 56 50.55 ; s 19 32 46.78 ; Desmate
o 43 56 32.17 ; s 19 32 42.31 ; Desmate
o 43 58 29.48 ; s 19 35 48.45 ; Desmate
o 43 58 11.14 ; s 19 35 37.44 ; Desmate
o 43 55 27.88 ; s 19 35 15.76 ; Desmate
o 43 55 43.99 ; s 19 35 15.85 ; Desmate
o 43 57 50.18 ; s 19 33 16.59 ; Desmate
o 43 50 48.75 ; s 19 34 7.49 ; Desmate
o 43 49 26.16 ; s 19 36 12.41 ; Desmate
o 43 53 24.36 ; s 19 36 13.92 ; Desmate
o 43 47 36.18 ; s 19 37 41.13 ; Desmate
o 43 56 19.30 ; s 19 33 14.97 ; Desmate
o 43 56 3.10 ; s 19 33 29.05 ; Desmate
END

```

Figura 34: Arquivo gerado pelo Sistema SPRING com as coordenadas geográficas de pontos de desmate localizados.

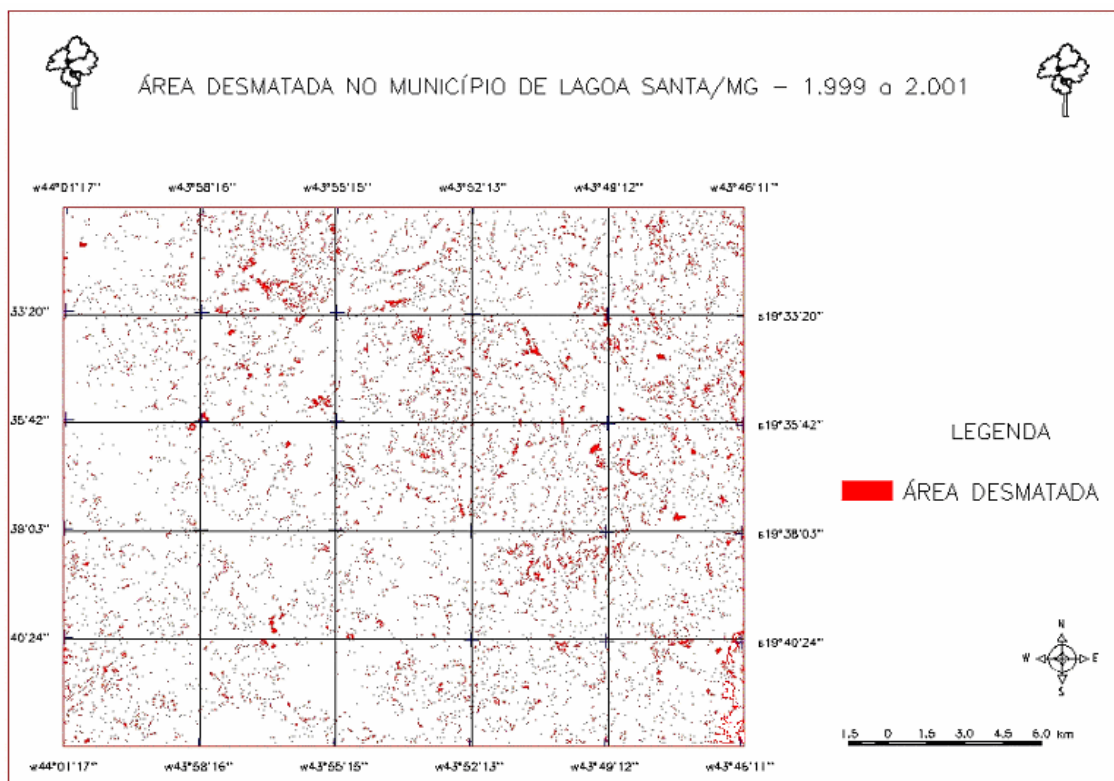


Figura 35: Mapa da área total desmatada

4.3 CONCLUSÕES E SUGESTÃO

Após o término do trabalho, com a verificação em campo dos resultados obtidos, foi observado que o georreferenciamento das ocorrências atendidas pelo Policiamento de Meio Ambiente, através das imagens de satélite, é uma ferramenta fundamental para que o Comandante de determinada área possa aferir, de maneira fácil e clara, os fatos ocorridos no espaço territorial sob sua responsabilidade, oferecendo informações importantes para melhor emprego do efetivo.

Outro recurso desenvolvido foi a localização de áreas desmatadas através da classificação e comparação de imagens de satélite de épocas diferentes de um mesmo local, que possibilitará a localização e o dimensionamento de áreas desmatadas em locais de difícil acesso ou ocultos no interior de matas.

As áreas de atuação das Unidades de Polícia de Meio Ambiente são, em sua totalidade, bastante extensas, ocasionando grandes deslocamentos das viaturas em patrulhamento, que em grande parte é feito em meio rural, onde as estradas e os acessos são precários e mal sinalizados, ocorrendo constantemente erros de percurso. Através do recurso de localização de áreas desmatadas com os pontos georreferenciados por coordenadas geográficas, utilizando aparelhos GPS, tais erros praticamente não iriam mais ocorrer, havendo, além de melhoria no atendimento da ocorrência, economia de tempo, do veículo e de combustível.

Foram cumpridos os objetivos específicos propostos nos itens a e b. Já os demais objetivos (c e d) não foram tratados neste trabalho tendo em vista que demandariam um tempo maior de pesquisa, percebido durante o desenvolvimento das atividades, porém serão objeto de estudo futuro.

Diante dos bons resultados apresentados, sugiro a criação de um Laboratório de Análise de Crimes e Infrações Contra o Meio Ambiente, que terá como missão desenvolver o Sistema apresentado para aplicação em todo o Estado de Minas Gerais, através das Unidades de Polícia Militar de Meio Ambiente.

5. REFERÊNCIAS e BIBLIOGRAFIAS

- ARONOFF, S. Geographic Information Systems: a management perspective. Ottawa: DL Publications, 1989. 249p.
- BURROUGH, P. A. (1986). Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment. Clarendon Press, Oxford. 194p.
- COWEN, D. J. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences photogrammetric engineering and remote sensing 54: 1551-4, 1988
- SCHOWENGERDT, Robert A. Remote Sensing, models and methods for image processing, 2ª Edição, 1997.
- RICHARDS, John A. Remote Sensing digital image analysis: an introduction. Springer, 1999.
- LOPES, Eymar S.S. Tutorial 10 aulas Spring 3.6. São José dos Campos: INPE, 2002.
- PAIVA, João Argemiro. et al. Banco de Dados Geográficos - Exercícios Práticos. São José dos Campos: INPE, 2002.
- Apostila teórica, Introdução ao Spring. São José dos Campos: INPE, 2002
- www.geominas.mg.gov.br (21/11/2002)
- www.engesat.com.br/satelites/landsat5.htm (27/11/2002)
- www.engesat.com.br/satelites/landsat7.htm (27/11/2002)
- www.inpe.br (19/10/2002)
- www.dpi.inpe.br (26/10/2002)

ANEXO ÚNICO

BOLETIM DE OCORRÊNCIA

Boletim de ocorrência e fotos digitais (atuais) de fato registrado anteriormente ao desenvolvimento do Sistema, referente à área localizada na Figura 30 (a). Divisa de município Lagoa Santa/Vespasiano.

POLÍCIA MILITAR DE MINAS GERAIS		Boletim de Ocorrência 408.166		UF: 7	Cia PM Mamb	Fl. 1/2
		Destinatário: Promotoria Pública		de Oper.: Y12016		
		Classe/ Subclasse: L 14000		Data: 26/06/02		
		Descrição sintética:				
I - DADOS REFERENTES A OCORRÊNCIA						
Tipo	Avenida	Logradouro:	Segunda (Sítio Vitória)		N	400
Bair	Vista Alegre	Municip	Vespasiano		UF: Mg	
II - PESSOAS ENVOLVIDAS NA OCORRÊNCIA						
Envo	Situação: (<input checked="" type="checkbox"/>) Autor () Vitima () Condição Física: () Sem ferimento () Com ferimento					
1	Nom Robson Alves Figueira					
Data	08/02/64	Profissã	soldador		Naturalida	Santa Luzia
Apelid			Militar em serviço:	() Sim ()	Sexo: (<input checked="" type="checkbox"/>) Masculino ()	
Prisão: ()	Flagrante ()	Mandado ()	Doc. Identida	40000	Órgão	SSP
Endereço	Avenida Segunda				N	400
Bair	Vista Alegre	Municip	Vespasiano		UF:	MG
Pai:	Robson Alves Figueira		Mãe:	Robson Alves Figueira		
Pessoa	Indicada para					
Endereço	-					Nº/A
Bairro						Fone
IV - HISTÓRICO DA OCORRÊNCIA						
<p>Sr(a). Promotor(a) de Justiça, em atendimento à denúncia de desmate, conforme Termo de Denúncia n.º 02430 contra o senhor "Robson Alves Figueira" qualificado na folha 1/ 2 deste boletim de ocorrência, comparecemos no "Sítio Vitória" município de Vespasiano, divisa com Lagoa Santa, onde constatamos o desmate em uma área de 30.900 m², sendo vegetação do local típica de cerrado. A referida área encontra-se no interior da APA Carste de Lagoa Santa, conforme Decreto n.º 98.881/90, além da propriedade pertencer a União (Aeronáutica). No ato da fiscalização não nos foi apresentado qualquer autorização para a realização do serviço, que seja de órgãos ambientais ou ainda contrato de arrendamento junto a Aeronáutica. No local existe aproximadamente 15 (quinze) esteres de lenha nativa, digo aproximadamente pois a vegetação cortada não foi empilhada. O produto foi apreendido ficando sob responsabilidade do autuado, que recusou-se a assinar tanto o Auto de Infração como o Termo de apreensão e depósito/ embargo interdição. Foi dada ciência a ele de que enviaríamos o boletim de ocorrência circunstanciando o fato tanto ao IBAMA como a esta Promotoria. Diante do fato lavramos o Auto de Infração n.º 283407-D no valor de R\$1.200,00 (mil e duzentos reais) e o Termo de Apreensão e Depósito/ Embargo e Interdição n.º 0253126-C com base nos dispositivos legais: Art. 15 e 40 (§1º) da Lei 9.605/98; Art. 2º itens II/IV/VII cominado com Art. 27 do Decreto 3.179/99; Art. 1º do Decreto 98881/90. Sem mais a relatar passo a vossas mãos para providências penais cabíveis.</p> <p>Coordenadas Geográficas: S - 19º 40' 24.1" - WO 43º 54' 45.0"</p>						
V - DADOS PARA CONTROLE INTERNO						
Houve autuação? (<input checked="" type="checkbox"/>) Sim () Não				PTR/VTR:		VP 3308
Hora transmissão:	Inic	Hora início:	10:15	Hora fato:	10:15	Hora término:
Nome do Militar:	Ladi de Assis Tameirão		Posto/Graduação:		Cabo PM	
Número:	071.391-5		Assinatura:			
VI - RECIBO DA AUTORIDADE A QUE SE DESTINA OU SEU REPRESENTANTE						
Recebi as pessoas e os materiais custodiados conforme o presente Boletim de Ocorrência.				Data:	Cargo:	MAASP:
Nome Legível:				Assinatura:		

IMAGENS DO LOCAL – BOLETIM DE OCORRÊNCIA Nº 408.166 DE 2.002

