

Ramon Nunes Araújo

Mapeamento da cobertura do solo
utilizando imagem Spot

VII Curso de Especialização em Geoprocessamento
2004



UFMG
Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha
Belo Horizonte
cartog@igc.ufmg.br

RAMON NUNES ARÁUJO

MAPEAMENTO DA COBERTURA DO SOLO UTILIZANDO IMAGEM SPOT

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em geoprocessamento, Departamento de Cartografia, Instituto de geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial a obtenção do título de especialista em geoprocessamento.

Orientador: Prof. Luciano Dutra

/

Belo Horizonte, 2004

Araújo, Ramon Nunes
Mapeamento da cobertura do solo utilizando imagem
Spot/Ramon Nunes Araújo.- Belo Horizonte ,2004.
Vii, 35 f.:il.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de
Minas Gerais.Instituto de Geociências, Departamento de
Cartografia,2004.

Orientador:Luciano Dutra

1.Sensoriamento remoto 2.Geoprocessamento 3.Cobertura do
solo. I.Título

AGRACECIMENTOS

A Deus pela oportunidade.

A meus pais, irmão e familiares, presentes em todas as etapas de minha vida.

A minha noiva Rejane, pela compreensão.

Aos amigos, em especial, Fabio e Saraiva pelo apoio constante.

À Geoexplore Consultoria e Serviços, que a cada dia me proporciona novos conhecimentos.

A Usina Coruripe, pelo fornecimento dos dados.

Aos professores, em especial ao professor Luciano Dutra, pela dedicação na orientação do trabalho.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo demonstrar as aplicabilidades das técnicas de sensoriamento remoto e SIG, utilizando o sensor orbital do sistema Spot 4 com resolução espacial de 10 metros. Os softwares utilizados foram ArcView 9.0 e o Erdas Imagine 8.7, esse último que proporcionou aplicar as técnicas de classificação automática do tipo supervisionada, utilizando-se do classificador do tipo “Máxima Verossimilhança” para o mapeamento da cobertura do solo da área de estudo, situada no Município de Limeira Do Oeste, Minas Gerais. Os resultados mostram boa similaridade com o mapa de classificação visual existente.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1-Introdução.....	8
1.2-Objetivos.....	8

CAPÍTULO 2-FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1-Geoprocessamento.....	9
2.2-SIG.....	9
2.3-Cartografia.....	11
2.4-Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD).....	12
2.5-Sensoriamento Remoto.....	12
2.5.1 Classificação de Imagens.....	13
2.6 SISTEMA SPOT	14
2.6.1-Introdução.....	14
2.6.2-Conhecendo Os Satélites E Sua Evolução.....	15

CAPÍTULO 3-MATERIAS E MÉTODOS

3.1-Localização e caracterização da área de estudo.....	17
3.2-Materiais Utilizados.....	1.
3.3-Metodologia.....	18
3.4-Definição da área de interesse.....	18
3.5-Elaboração da Base Cartográfica.....	18
3.6-Georreferenciamento da Folha Topográfica.....	19
3.7-Processo de vetorização.....	19
3.8-Processamento da Imagem.....	20
3.9-Classificação Multiespectral.....	21

CAPÍTULO 4-DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....

CAPÍTULO 5-CONCLUSÕES.....

CAPÍTULO 6-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....34

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Representação do mundo real em meio digital, (a) Representação matricial (b)Representação vetorial.....	10
Figura 02: Mapa de articulação da área mapeada.....	18
Figura 03: Interface do ArcCatalog.....	20
Figura 04: Mapa de cobertura do solo	22
Figura 05: Mapa de pontos visitados.....	24
Figura 06: Classes representadas.....	25
Figura 07: Assinaturas espectrais semelhantes.....	25
Figura 08: Classes generalizadas.....	26
Figura 09a: Mapa de classificação gerado a partir das 07 classes.....	27
Figura 09b: Estatística dos resultados da classificação não generalizado.....	28
Figura 10a: Mapa de classificação generalizado.....	29
Figura 10b: Estatística dos resultados da classificação generalizada.....	30
Figura 11a: Mapa de classificação não supervisionado das classes não generalizadas.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Escalas, precisão gráfica e precisão real.....	19
Tabela 02: Tabela de coordenadas dos pontos visitados.....	23

CAPÍTULO-1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1-INTRODUÇÃO

As imagens da terra, para profissionais que trabalham com Geoprocessamento, são muito mais do que figuras atraentes. Especificamente, as imagens de satélite são atualmente o tipo de dado mais utilizado para extração de informações geográficas a partir de sensores remotos. Conhecer e compreender as técnicas de sensoriamento remoto tornou-se um grande desafio para os profissionais, considerando que, para extrairmos o máximo de informações da imagem é necessário tanto o domínio técnico, quanto o teórico. As grandes evoluções das técnicas de sensoriamento remoto e a popularização das imagens de satélite, têm propiciado a geração de brilhantes trabalhos científicos nessa área, ressaltando as pesquisas desenvolvidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, que foi uma importante fonte de pesquisa para o desenvolvimento desse trabalho.

1.2-OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi demonstrar a importância dos *Sistemas de Informação Geográfica* (SIG), do Sensoriamento Remoto e das imagens adquiridas pelo Sensor Orbital Spot para planejamentos e gerenciamentos de atividades urbanas, agrícolas, florestais, entre outras.

Especificamente visa demonstrar a aplicabilidade das técnicas de identificação de objetos em imagens de satélite, conhecidas como classificação de padrões. Essas técnicas são baseadas na resposta espectral dos objetos da cena, visando à geração de mapas temáticos da cobertura do solo, com base em um mapeamento já existente comprovado em campo.

Outro objetivo a ser citado é a aplicação dos conhecimentos adquiridos durante o Curso de Especialização em Geoprocessamento, oferecido pela Universidade Federal de Minas Gerais.

CAPÍTULO 2-FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Nesse capítulo são abordados alguns conceitos teóricos considerados relevantes para uma melhor compreensão desse trabalho. Encontram-se aqui descritos alguns conceitos e definições relacionadas ao geoprocessamento, sensoriamento remoto, sistema Spot, ferramentas amplamente utilizadas durante toda a execução deste trabalho.

2.1-GEOPROCESSAMENTO

Dois conceitos importantes, que muitas vezes são confundidos, referem-se ao Geoprocessamento e aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). O geoprocessamento é o conceito mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georeferenciados, enquanto que um SIG processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase nas análises espaciais e modelagens de superfícies (INPE, 2003).

2.2-SIG

A procura por uma definição consensual na literatura disponível para os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ou *Geographic Information System* (GIS), é sem dúvida uma tarefa exaustiva, porém elucidativa. Uma definição satisfatória pode ser dada como sendo um sistema baseado em computador, que permite ao usuário coletar, armazenar, manusear e analisar dados georeferenciados. Pode ser visto como uma combinação de hardware, software, dados, metodologias e recursos humanos, que operam de forma harmônica para produzir e analisar informação geográfica (Teixeira *et al.* 1997).

A rápida expansão dos SIG's está relacionada aos avanços da área de computação e de sua grande versatilidade e potencial para a solução de problemas de análise nas mais diversas aplicações temáticas, como estudos de uso da terra, topografia, geologia, análise ambiental, clima, solos, entre outros (Teixeira, 1992).

Um dos aspectos importantes dos dados manipulados em um SIG é que relacionado a um dado geográfico são associadas características descritivas (atributos), constituindo um banco de dados geográfico.

A organização do banco de dados geográfico pode ocorrer como estruturas diversas. Os

.....

dados não gráficos são armazenados em tabelas sendo constituídas por atributos alfanuméricos. O dado gráfico pode ser armazenado como estrutura matricial (*raster*) ou vetorial.

A estrutura *raster* divide o espaço através de uma malha com linhas verticais e horizontais afastadas regularmente, formando células ou uma matriz (*grid*) (figura 01a). A estrutura vetorial adota o espaço como contínuo, assumindo que as coordenadas x, y dos pontos são matematicamente exatas (figura 01.b). Na forma vetorial qualquer elemento pode ser reduzido a três formas básicas: ponto, linha, área ou polígono (Teixeira, 1992).

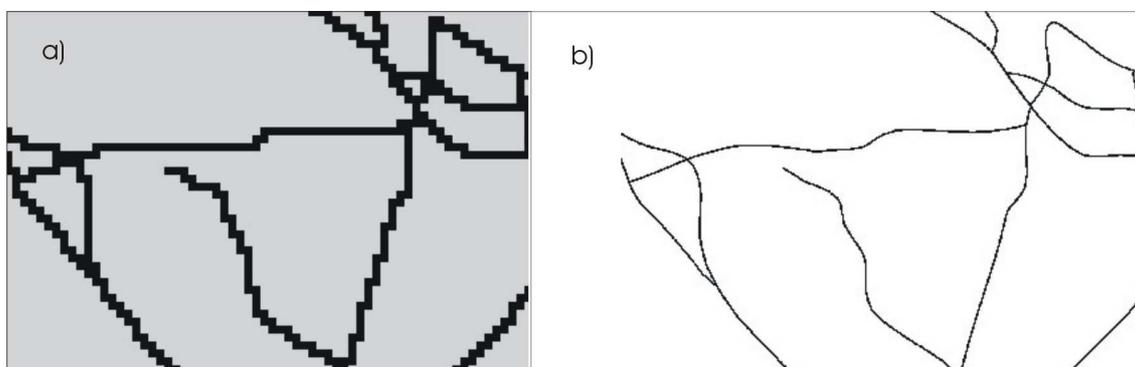


Figura 01: Representação do mundo real em meio digital, (a) Representação matricial e (b) Representação vetorial.

O dado geográfico pode ser considerado o elemento fundamental dos SIGs. Constitui-se dos fenômenos relacionados ao mundo real e podem ser descritos como espacial, quando variam de lugar para lugar; temporal - quando variam com o tempo; e temática - quando as variações são detectadas através das mudanças de características (Silva, 1999).

Para a caracterização dos SIGs é importante mencionar a sua inter-relação com a Cartografia, Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) e Sensoriamento Remoto (SR). Existe hoje no mercado uma grande variedade de softwares de SIG que se propõem a desempenhar estas funções unificadamente. Porém, ainda é comum a utilização de diferentes softwares, com funções específicas, procurando um melhor desempenho para execução de cada função. Por este motivo, as aplicações de SIG possuem funções de importação e exportação para os principais formatos gerados por estes softwares.

2.3-CARTOGRAFIA

A cartografia é entendida como o conjunto de estudos e operações científicas, artísticas ou técnicas, baseada nos resultados de observações diretas ou de análise de documentação, visando à elaboração e preparação de cartas, projetos e outras formas de expressão, bem como sua utilização (Silva, 1999).

A cartografia contribui para a definição das convenções gerais na criação de produtos derivados de um mapa (Soares Filho, 2000). Estas convenções incluem:

Exatidão e precisão;

Projeção cartográfica;

Referência cartográfica (coordenadas), e;

Aparência gráfica (simbologia).

As projeções cartográficas podem ser definidas como a correspondência matemática entre as coordenadas plano-retangulares do mapa e as coordenadas esféricas da Terra (Libault, 1975 *apud* Silva, 1999).

Neste trabalho utilizou-se o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM). Este sistema é expresso em metros e tem a propriedade da conformidade, isto é, os ângulos e as formas das figuras são preservados. Seu princípio fundamenta-se na projeção da superfície terrestre sobre um cilindro transversal ao eixo de rotação da Terra, assumindo 60 posições diferentes. Mantendo seu eixo sempre perpendicular ao meridiano central de cada fuso ou zona, que possuem largura de 6° de longitude, a Terra é dividida em 60 fusos que são numerados de oeste para leste, iniciando no meridiano oposto a Greenwich (Granell-Pérez, 2001).

2.4-SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE BANCO DE DADOS (SGBD)

Em seu sentido mais simples, um Banco de Dados (BD) é uma coleção de registros e arquivos organizados para um propósito particular (Góes, 2000). O gerenciamento eficiente para o armazenamento e recuperação destes registros é tarefa dos Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) e é essencialmente feito por softwares específicos como Oracle, Access e SQL Server.

Quase todos os sistemas de gerenciamento de banco de dados armazenam e cuidam das informações usando o modelo de banco de dados relacional. Um banco de dados relacional possui estrutura caracterizada por uma coleção de tabelas, que se relacionam entre si com base no conteúdo de campos compartilhados (Teixeira, 1997).

Uma relação, em geral, é armazenada como uma tabela que possui atributos específicos sobre um único assunto. Um relacionamento é a forma como as informações de uma relação se relacionam com as informações de outra relação (Góes, 2000).

2.5-SENSORIAMENTO REMOTO

Uma definição para Sensoriamento Remoto (SR) pode ser: “É a utilização de sensores para aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto com eles (INPE, 2003)”.

Os principais produtos do sensoriamento remoto utilizados em mapeamento são as fotografias aéreas e as imagens de satélite. Estas últimas tiveram grande avanço tecnológico nas últimas décadas apresentando-se atualmente como o principal produto utilizado em Sensoriamento Remoto. Existe hoje uma grande variedade de satélites disponibilizando imagens com características e objetivos diversos.

Os levantamentos aerofotogramétricos tornaram-se menos comuns devido ao seu alto custo, porém constituem uma poderosa ferramenta por possibilitarem a interpretação das fotografias através de estereoscopia. As fotografias em formato analógico podem ser convertidas para o formato digital possibilitando a utilização de técnicas de Processamento Digital de Imagens.

A função primordial do Processamento Digital de Imagens (PDI) de sensoriamento remoto

.....

é fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração de informação contidas nas imagens, para posterior interpretação (Crosta, 1999).

Um conceito importante para o presente trabalho refere-se à resolução das imagens de sensoriamento remoto (Crosta, 1999):

Resolução espacial - É definida pela capacidade do sensor de “enxergar” objetos na superfície terrestre; quanto menor o objeto possível de ser visto, maior a resolução espacial;

Resolução espectral - É definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo do 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;

Resolução radiométrica - 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.

2.5.1 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS

A classificação automática de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto diz respeito à associação de cada pixel da imagem a um “rótulo”, descrevendo um objeto real (solo, vegetação, etc.). Dessa forma, os valores numéricos associados à cada pixel, definidos pela reflectância dos materiais que compõe esse pixel, são identificados em termos de um tipo de cobertura da superfície terrestre imageada (água, tipo de vegetação, solo, etc.), chamadas então de temas. Especificamente essa atribuição é feita com base no pixel em si e na sua vizinhança, com base em algumas regras (Crosta, 1993).

a) Classificação Supervisionada

Para fins de mapeamento temático, como acontece no caso desta proposta de pesquisa, normalmente aplica-se essa técnica.

Nesse tipo de classificação, é necessário que o usuário conheça alguma feição da área a ser classificada, antes de iniciar o processo. Essas áreas podem então ser usadas como padrão de comparação, com o qual todos os pixels desconhecidos da imagem serão comparados

.....

para decidir a qual classe eles pertencem.

Uma área da imagem que o usuário identifica como representando uma das classes é chamada de área de treinamento.

Todos os pixels dentro de uma área de treinamento para cada classe constituem um conjunto de treinamento.

O método de classificação mais comum na análise de imagens de sensoriamento remoto e o de máxima verossimilhança, conhecido também como *MaxVer*, em que a identificação do objeto é feita pelas características pontuais (por amostragem). Este classificador avalia tanto a variância como a covariância dos padrões de resposta espectral de uma categoria quando está classificando um pixel desconhecido (Barbosa, 1998).

b). Classificação não supervisionada

A classificação não-supervisionada baseia-se no princípio de que o computador é capaz de identificar por si só as classes dentro de um conjunto de dados (Crosta, 1992), ou seja, os pixels de uma imagem são alocados em classes sem que o usuário tenha conhecimento prévio de sua existência. Este procedimento permite que o usuário conheça a distribuição de pixels por classes espectrais.

2.6 SISTEMA SPOT

O que se segue foi baseado na apostila da empresa Intersat, também disponíveis na internet, no endereço www.intersat.com.br e www.spotimage.br.

2.6.1-INTRODUÇÃO:

O programa SPOT foi planejado e projetado desde o início como um sistema operacional e comercial de observação da Terra (SPOT- **S**atellite **P**our l'**O**bservation de la **T**erre) por iniciativa do governo francês em 1978 com a participação da Suécia e Bélgica e gerenciado pelo Centro Nacional de Estudos Espaciais (CNES), responsável pelo desenvolvimento e operação dos satélites.

Atualmente, o programa SPOT é composto pelos satélites SPOT 1, 2, 4 e 5 onde o SPOT 3 sofreu alguns problemas técnicos, deixando de funcionar em 14 de novembro de 1996.

Os três primeiros satélites do programa SPOT (SPOT1, SPOT2, SPOT3) são idênticos. Há uma evolução do SPOT4 com a inserção da Banda Infravermelha média (SWIR) e o SPOT5, utilizado na pesquisa, traz grandes novidades com um instrumento dedicado para geração de pares-estereocópicos (HRS) e melhorou consideravelmente a acurácia de suas imagens, além da resolução.

2.6.2-CONHECENDO OS SATÉLITES E SUA EVOLUÇÃO:

Os satélites SPOT são satélites com o fim exclusivo de imageamento a partir de sistemas ópticos e não radar. Desta forma, é possível imagear não apenas o visível, que é o que o olho humano pode enxergar, mas também outras faixas do espectro eletromagnético, como o Infravermelho e etc; e para isso, os satélites SPOT são dotados de instrumentos. Cada série tem os seus instrumentos específicos.

A série SPOT 1, 2,3 são dotados de dois instrumentos idênticos chamados de HRV (High Resolution Visible). O instrumento HRV é capaz de gerar imagens PANCROMÁTICA “P” com 10 metros de resolução e MULTIESPECTRAL “X” B1 (verde), B2 (vermelho), B3 (Infravermelho próximo) e B4 (Infravermelho médio) com 20 metros de resolução.

Já na série **SPOT 4** houve uma evolução em seus instrumentos, incluindo banda Infravermelho médio. Por isso, este satélite é dotado de dois instrumentos idênticos chamados de HRVIR (high Resolution Visible Infrared). O instrumento HRVIR é capaz de gerar imagens MONOCROMÁTICAS “M” com 10 metros de resolução e MULTIESPECTRAL “I” B1 (verde), B2 (vermelho), B3 (Infravermelho próximo) e B4 (Infravermelho médio) com 20 metro de resolução.

Além da evolução dos instrumentos imageadores, a série **SPOT 4** traz um novo instrumento, o VGT 1, específico para imageamentos com o intuito de estudos sobre vegetações.

Agora na série SPOT 5, a evolução em seus instrumentos é ainda maior. Este é dotado de dois instrumentos idênticos chamados de HRG (High Resolution Geometric) que significa (Alta Resolução Geométrica), ou seja, tem as mesmas bandas que o SPOT4, só que em alta resolução geométrica; até 2,5 metros comparados com 10 metros de seus antecessores. O instrumento HRG é capaz de gerar imagens PANCROMÁTICAS com 5 métrros de resolução “A” ou 2,5 metros de resolução “B” e MULTIESPECTRAL “J” B1 (verde), B2

.....

(vermelho), B3 (Infravermelho próximo) e B4 (Infravermelho médio) com 10 metros de resolução. Além da melhora na resolução geométrica ou espacial, melhorou também a acurácia sem o uso de GCP (Ground Control Point) o que era de 350m de precisão de posicionamento para as série SPOT 1, 2, 3 e 4, passou para 50 metros no SPOT5.

O Spot 5 suporta também o instrumento VGT para fins de estudos específicos com vegetações e traz um novo instrumento, o HRS (High Resolution Stereoscopic) que significa (Imagens estereoscópicas de alta resolução), capaz de gerar DEM (Digital Elevation Model), que significa Modelo Digital de Elevação em tempo real e com grande precisão.

Cada instrumento imageador (“HRV” para Spot 1,2,3, “HRVIR” para Spot 4 e “HRG” para Spot5) podem trabalhar independentemente ou em conjunto. Graças a um espelho móvel que pode ser orientado, apontando para as áreas de interesse num corredor que vai até 27° lateralmente com relação a vertical, para leste ou a oeste, assim os satélites SPOT têm acesso a uma faixa de 950Km de largura. Quando as cenas são adquiridas com algum ângulo de visada, o efeito de perspectiva faz com que a área imageada possa ser mais larga, até 80 Km.

Desta forma, cada instrumento imageador gera uma cena que cobre uma área de 60Km x 60Km no nadir, ou seja, na vertical, ou 60Km x 80Km em off-nadir, ou seja, em visada oblíqua.

Esta possibilidade de visada oblíqua confere aos satélites SPOT uma capacidade de revisita de uma área de interesse de alguns dias (3 a 4 dias em média), muito superior a periodicidade da órbita que é de 26 dias, e permite igualmente a aquisição de imagens em estereoscopia.

Além, dos dois instrumentos imageadores trabalharem independentes(HRV – High Resolution Visible – SPOT 1,2,3), ou (HRVIR – High Resolution Visible Infrared – SPOT 4) ou (HRG – High resolution Visible Infrared – SPOT 4) ou (HRG – High Resolution Geométric – SPOT 5), eles podem operar em modo “geminado”, imageando áreas contíguas. A área total coberta é de 117Km, ou seja, duas faixas de 60 Km de largura cada com 3 Km de sobreposição.

CAPÍTULO 3-MATERIAS E MÉTODOS

Nesse capítulo será apresentado a metodologia para classificação automática da imagem referente ao município de Limeira do Oeste, em relação a um mapeamento já existente.

3.1-LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

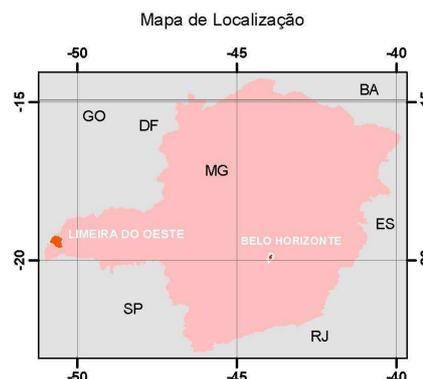
O município de Limeira do Oeste está situado na Região do Triângulo Mineiro a Oeste do Estado de Minas Gerais.

O aspecto geral de seu território é de planície.

O município é limítrofe com os municípios de Santa Vitória, Carneirinho, Iturama e União de Minas.

A vegetação é formada de matas, cerrados, campos de pastagens, sendo predominantes os cerrados e campos de pastagens.

O clima predominante é o tropical semi-úmido com uma temperatura média anual de 29 graus.



3.2-MATERIAIS UTILIZADOS

Imagem multiespectral composta pelas bandas 1, 2, 3 - 4 do satélite Spot 4, formato Geotif, 10 pan, cedida pela Usina Coruripe, de outubro de 2003;

Base cartográfica do IBGE, em escala 1:100.000;

Mapa do “Uso e Ocupação do Solo”, em formato ShapeFile (formato proprietário do software ArcView) cedido pela Usina Coruripe;

Planilha com dados de campo cedidos pela Usina Coruripe;

Softwares especializados: ArcView 9.0 (ESRI), e ErdasImagine (Leyca Geosystem);

Estação de trabalho: Pentium IV, 500 MB, 40 GB ;

Impressora HP 9300;

3.3-METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido em quatro etapas que serão descritas a seguir. Para a melhor compreensão dos procedimentos utilizados será feito o detalhamento de metodologias mais específicas na apresentação de cada tópico.

Definição da área de interesse

Elaboração da base cartográfica

Processamento digital da Imagem

Classificações Multiespectrais

3.4-DEFINIÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE

A escolha do Município foi em virtude de ser o local da mais nova filial da Usina Coruripe, focada no beneficiamento de açúcar e álcool.

O limite da área de trabalho foi preestabelecida de acordo com os interesses da Usina, que forneceu uma poligonal limítrofe em formato DXF, que é um arquivo proprietário do software AutoCad, que posteriormente foi convertido para o formato shapefile, para ser trabalhado nos softwares ArcView e Erdas Imagine 8.7.

3.5-ELABORAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA

O primeiro passo após a definição da área, foi o de pesquisar sobre quais cartas do IBGE em escala 1:100.000 a área estava inserida (Figura 02).

Após a definição das cartas topográfica e aquisição da mesma, foi feito o processo de digitalização (escanerização) somente da área de interesse, utilizando-se de um scanner simples de tamanho de folha A4.

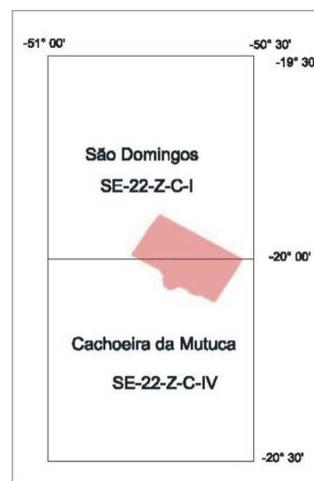


Figura 02 - Mapa de Articulação da área mapeada.

3.6-GEORREFERENCIAMENTO DA FOLHA TOPOGRÁFICA

Para o Georreferenciamento da imagem da área foi utilizado o software ArcView 9.0, onde foram alocados dez pontos de controle, utilizando a função polinomial de 3º ordem, obtendo-se um RMS de 20 metros, compatível com a escala de 1:100.000(Tabela 01).

Escalas	Precisão Gráfica	Precisão real (metros)
1:5.000	0,2 mm	1
1:10.000	0,2 mm	2
1:25.000	0,2 mm	5
1:50.000	0,2 mm	10
1:100.000	0,2 mm	20

Tabela 01:Escalas, precisão gráfica e precisão real

3.7-PROCESSO DE VETORIZAÇÃO

Nesse processo foi utilizado o Software ArcView 9.0.

O primeiro passo para a vetorização das feições cartográficas foi a criação dos temas de hidrografia, hipsometria, vias de acesso e área urbana, utilizando o ArcCatalog, que superficialmente é um ambiente dentro do ArcView, onde se cria e gerencia os dados geográficos, conforme ilustra a figura a seguir (Figura 03).

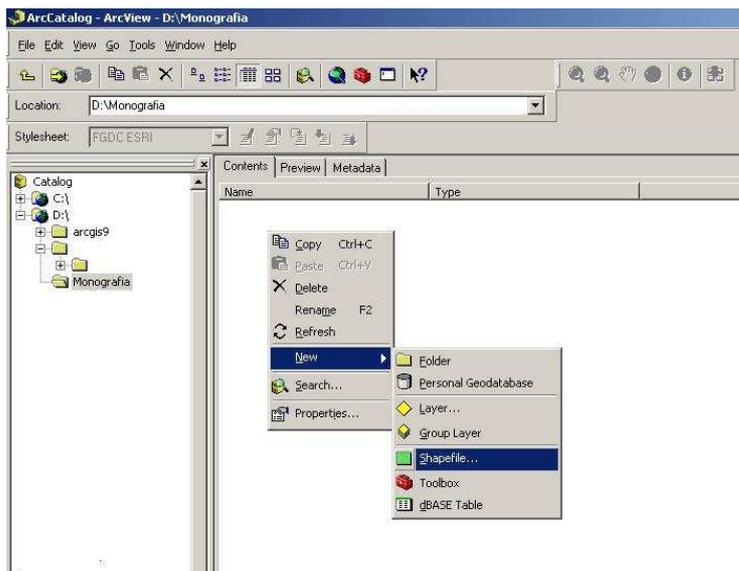


Figura 03 – Interface do ArcCatalog.

Vale ressaltar que para a criação dos temas no ArcCatalog, é necessário indicar o nome do arquivo, o tipo de feição (Linha, Ponto ou Polígono) e o sistema de coordenadas, que no caso o adotado foi o WGS84, Zona 22 Sul.

Criados os temas, iniciou-se o processo de vetorização manual, utilizando o ArcMap, que superficialmente é chamada de “estação de trabalho” dentro do ArcView.

3.8-PROCESSAMENTO DA IMAGEM

Para todas as etapas de processamento digital da imagem foi utilizado do software Erdas Imagine 8.7, da empresa *Leica Geosystems*.

Inicialmente foi necessário recortar a imagem da área de trabalho, evitando assim processamentos desnecessários.

O Software Erdas possui o recurso chamado “subset image”, que recorta uma imagem em função de outro arquivo, onde foi utilizado o do limite da área de trabalho, em formato shapefile, proprietário do ArcView

3.9-CLASSIFICAÇÃO MULTIESPECTRAL

Seguindo o objetivo do trabalho, optou-se pelo uso das classificações automáticas dos tipos supervisionada e não supervisionada (*Clustering*), esta última como teste, pois como já descrito, a confiabilidade é limitada.

Para a classificação supervisionada , foram utilizadas as seguintes ferramentas do software Erdas Imagine:

Signature Editor, que é utilizado para coletar, armazenar e avaliar as assinaturas espectrais.

AOI tools, que são ferramentas para digitalizar e selecionar pixels individuais ou em grupo.

Accuracy Assessment, utilizado para conferir a eficácia da classificação.

Na primeira etapa de classificação, foram definidas sete classes utilizadas para treinamento, as mesmas idealizadas e utilizadas para o mapeamento da cobertura do solo fornecido pela Usina Coruripe. Tal mapeamento foi realizado pela empresa Geoexplore Consultoria e Serviços, com apoio de uma equipe técnica da usina. A imagem utilizada no presente trabalho serviu de base para o mapeamento das classes.

As classes levantadas foram: área urbana, solo exposto, mata ciliar, mata nativa, brejo, água e pasto (Figura 04).

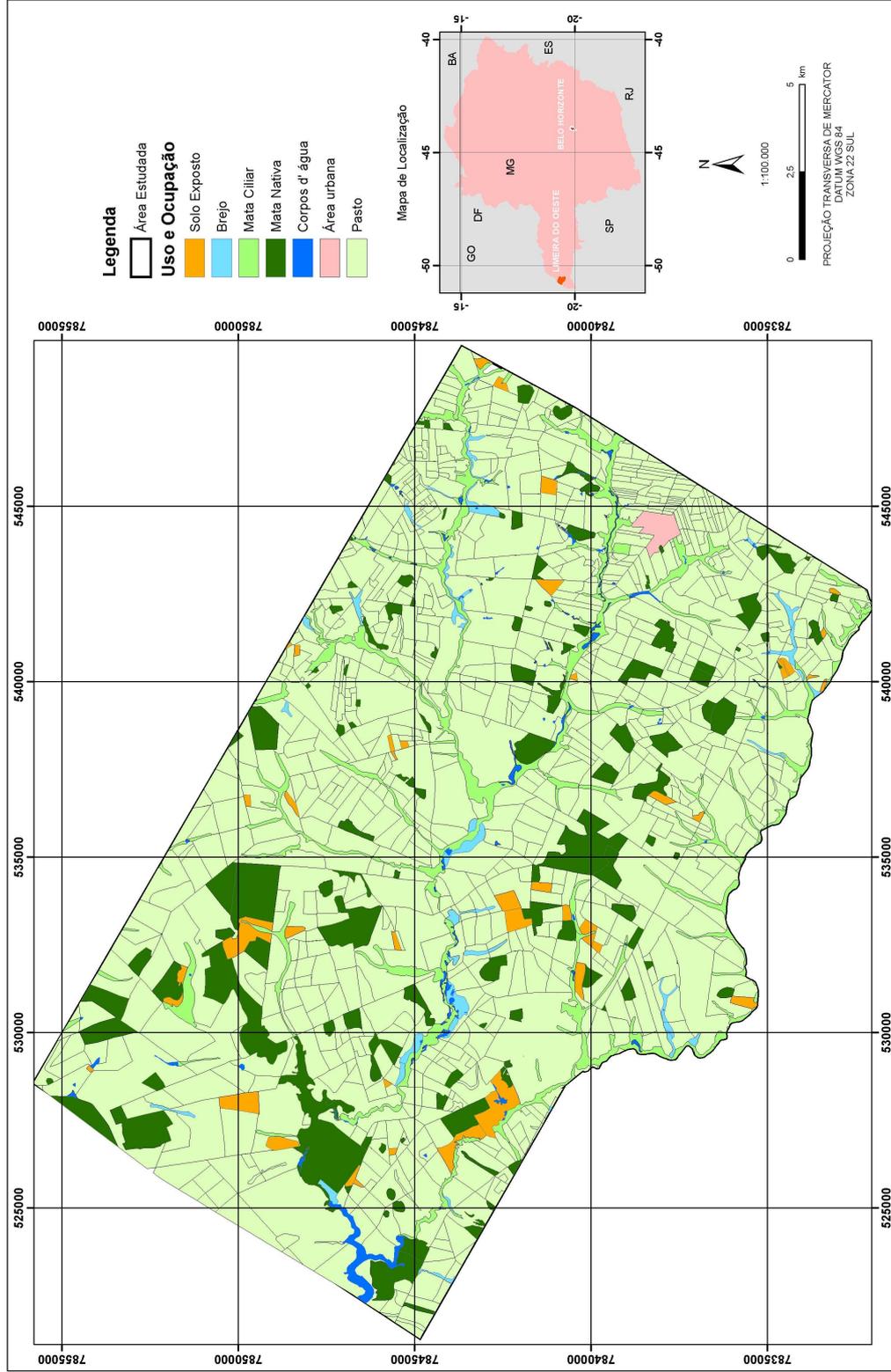


Figura 04 – Mapa de uso e ocupação do solo.

Os pontos visitados já estavam em formato xls, sendo necessária a conversão para o formato dbf, que é o formato utilizado pelo arcview para a importação dos pontos, levando em consideração as coordenadas x e y.

Nome	Leste	Norte	Nome	Leste	Norte
1	527706,93860700000	7846241,50786999000	24	537411,91921199900	7843608,57428999000
2	533404,78744900000	7843689,98357000000	25	535801,47775700000	7843479,09913000000
3	533006,66008099900	7843936,53055999000	26	544095,21296899900	7838229,77438999000
4	545734,17866199900	7842986,74103999000	27	544760,26805199900	7837679,61605000000
5	527636,08703199900	7851301,39070999000	28	527716,38935199900	7852558,99349999000
6	541649,62377900000	7834271,48763000000	29	531119,71777800000	7840334,96585000000
7	526935,84124800000	7853555,39482000000	30	530950,89388400000	7837489,31694999000
8	527739,01912499900	7843794,02599999000	31	549093,95143100000	7843241,03027999000
9	542085,41961900000	7835241,90668000000	32	527758,51493599900	7849472,93396999000
10	537144,56687400000	7836131,34915999000	33	530864,13206199900	7835524,67124000000
11	548235,41609399900	7841911,58892999000	34	544751,55110699900	7838561,33971000000
12	549263,39512200000	7843517,66442999000	35	543935,78732000000	7837971,66913000000
13	528381,03679000000	7855366,47601999000	36	528986,28400900000	7845370,65952000000
14	521643,80331900000	7845234,40964000000	37	542496,38498199900	7834208,09367999000
15	533325,90973700000	7838457,03137999000	38	524309,98311200000	7846629,79863000000
16	541638,81445099900	7834124,89288999000	39	522879,47006899900	7846482,41244000000
17	541667,60296799900	7833243,96427000000	40	523182,91223000000	7846785,85460000000
18	538492,95470700000	7849707,93857999000	41	523607,73125499900	7846491,08220999000
19	533840,98428400000	7852563,10264999000	42	531581,48586400000	7844340,52269000000
20	530002,80087799900	7836623,21587000000	43	527814,77012700000	7845495,20043000000
21	525403,54002099900	7850270,64367999000	44	530301,20130299900	7851348,03210000000
22	545497,25210799900	7845677,42059999000	45	529742,96984899900	7844418,99593000000
23	535446,65112399900	7842223,31398000000			

Tabela 02 – Tabela de coordenada dos pontos visitados.

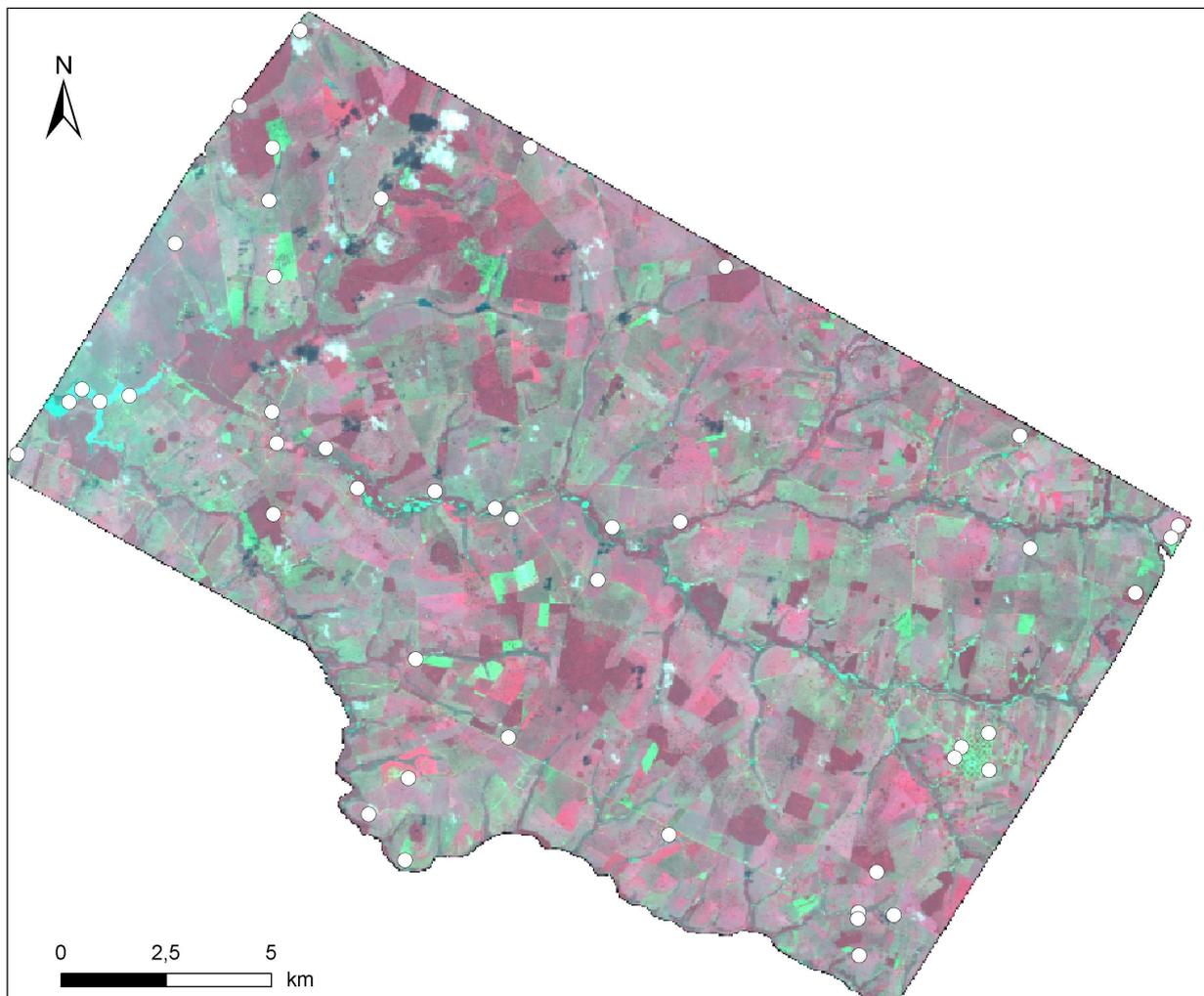
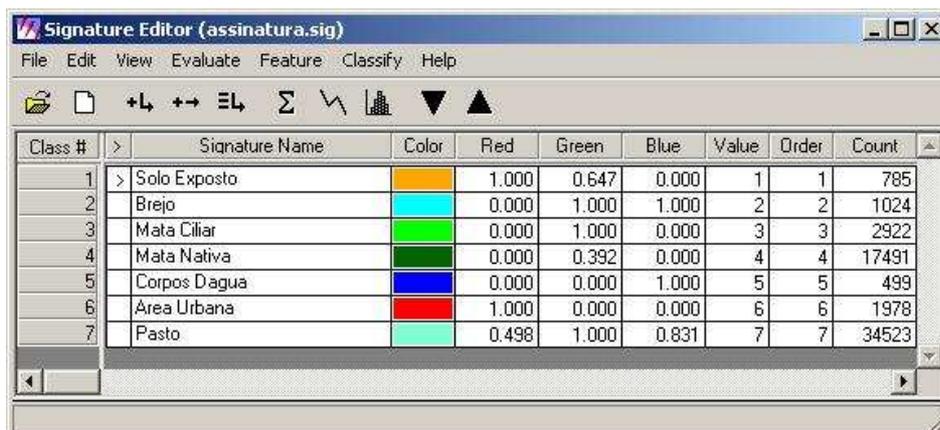


Figura 05 – Mapa de pontos visitados

O tema de pontos, bem como o mapa de uso e ocupação do solo serviram de apoio para coletar as áreas de treinamentos, onde foram coletadas cinco amostras de cada classe, utilizando a ferramenta de AOI, onde obtivemos os resultados observados na Figura 06.



Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count
1	Solo Exposto	Orange	1.000	0.647	0.000	1	1	785
2	Brejo	Cyan	0.000	1.000	1.000	2	2	1024
3	Mata Ciliar	Bright Green	0.000	1.000	0.000	3	3	2922
4	Mata Nativa	Dark Green	0.000	0.392	0.000	4	4	17491
5	Corpos Dagua	Blue	0.000	0.000	1.000	5	5	499
6	Area Urbana	Red	1.000	0.000	0.000	6	6	1978
7	Pasto	Light Green	0.498	1.000	0.831	7	7	34523

Figura 06 – Classes representadas.

O método de classificação utilizado foi o de *máxima verossimilhança*, mais conhecido como *MaxVer*, onde foram avaliados tanto a variância como a covariância dos padrões de resposta espectral dos pixels desconhecidos, por base nas amostras pontuais levantadas.

Com o intuito de melhorar o resultado da classificação, em decorrência de algumas classes possuírem assinaturas espectrais bem próximas (Figura 07), foi elaborada uma nova classificação, utilizando os mesmos processos descritos acima, mais com classes generalizadas.

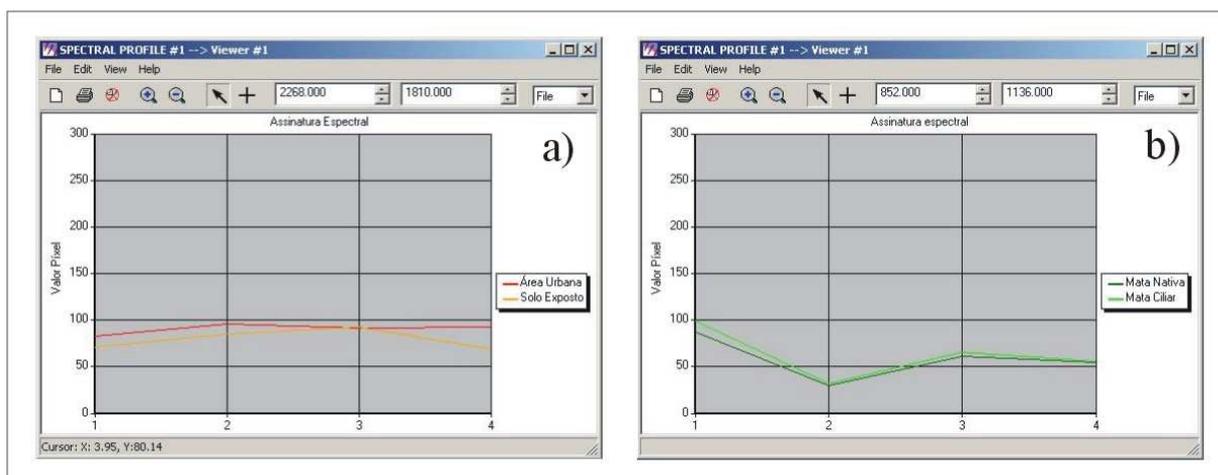


Figura 07 – Assinaturas espectrais semelhantes.

Nesse caso, área urbana foi unida ao solo exposto e as classes de mata nativa e mata ciliar transformaram-se em Mata. Os pontos obtidos em campo, também foram reclassificados, para viabilizar a acurácia da classificação.

Após a nova classificação, obtivemos as seguintes classes:



The screenshot shows the 'Signature Editor (assinatura-final.sig)' window. It contains a table with the following data:

Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count
1	Água	Blue	0.000	0.000	1.000	10	10	351
2	Mata	Green	0.000	0.392	0.000	15	24	2392
3	Solo Exposto	Red	1.000	0.000	0.000	12	35	352
4	Brejo	Cyan	0.000	1.000	1.000	14	47	227
5	Pasto	Light Green	0.498	1.000	0.831	11	57	613

Figura 08 – Classes generalizada.

Os mapeamentos resultantes da primeira e segunda classificação, foram executadas pelo Erdas Imagine, obtendo-se mapas temáticos do uso e ocupação do solo, correspondentes às **Figuras 09, 10 e 11** respectivamente.

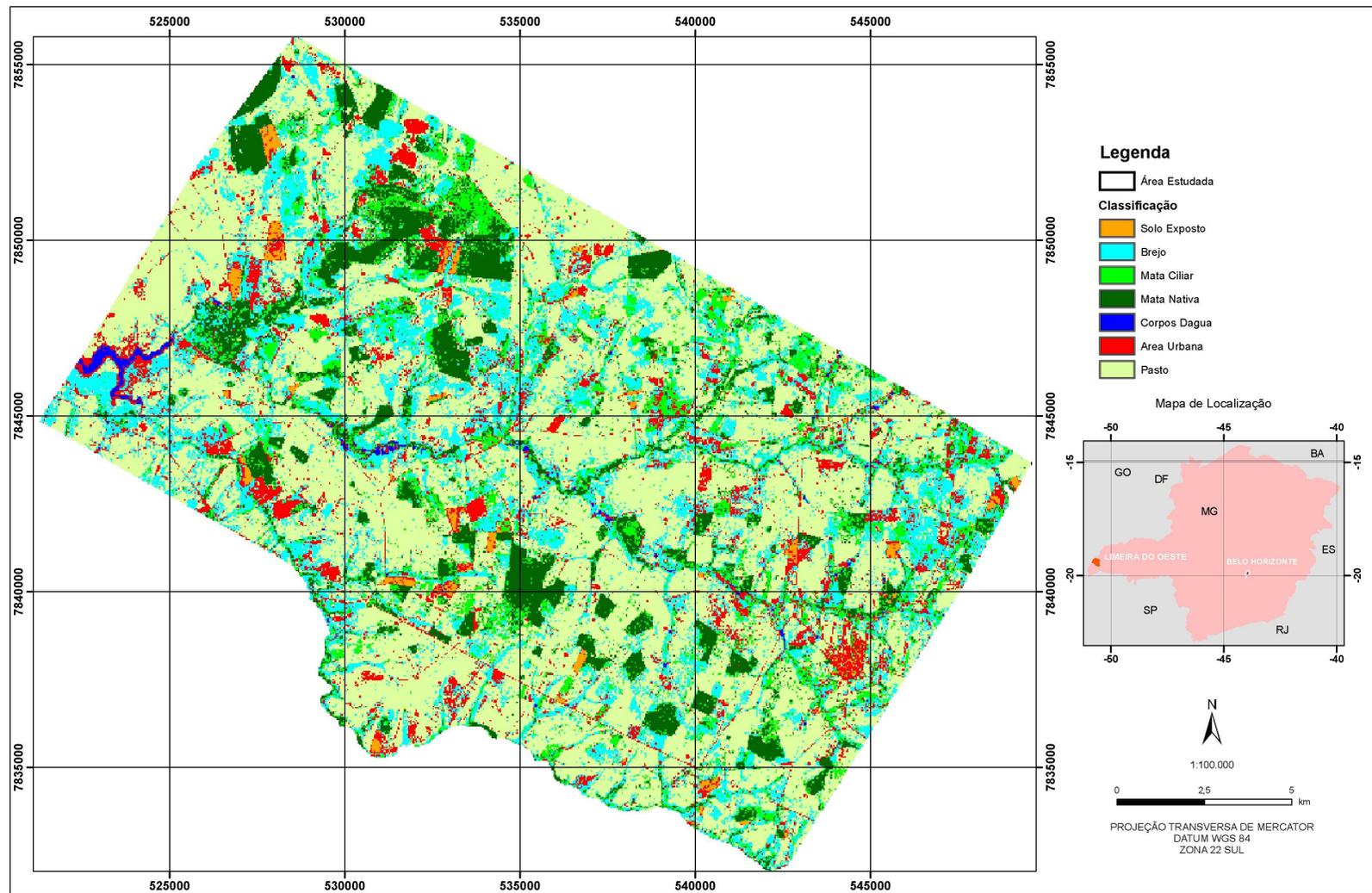


Figura 09a – Mapa de classificação gerado a partir das 07 classes.

.....

```

ERROR MATRIX
-----
Reference Data
-----
Classified Data  Unclassifi  Solo Expos  Brejo  Mata Cilia
-----
Unclassified    0          0          0          0
Solo Exposto    0          5          0          0
Brejo           0          0          5          2
Mata Ciliar     0          0          2          2
Mata Nativa     0          0          0          0
Corpos Dagua    0          0          3          0
Area Urbana     0          1          0          0
Pasto           0          0          0          0
Column Total    0          6          10         4

Reference Data
-----
Classified Data  Mata Nativ  Corpos Dag  Area Urban  Pasto
-----
Unclassified    0          0          0          0
Solo Exposto    0          0          0          0
Brejo           0          0          0          1
Mata Ciliar     0          0          1          0
Mata Nativa     4          0          0          0
Corpos Dagua    0          4          0          0
Area Urbana     0          0          3          0
Pasto           1          0          0          11
Column Total    5          4          4          12

----- End of Error Matrix -----

ACCURACY TOTALS
-----
Class Name  Reference  Classified  Number  Producers  Users
            Totals    Totals      Correct  Accuracy   Accuracy
-----
Unclassified  0          0          0        ---        ---
Solo Exposto  6          5          5        83.33%    100.00%
Brejo         10         8          5        50.00%    62.50%
Mata Ciliar   4          5          2        50.00%    40.00%
Mata Nativa   5          4          4        80.00%    100.00%
Corpos Dagua  4          7          4        100.00%   57.14%
Area Urbana   4          4          3        75.00%    75.00%
Pasto         12         12         11       91.67%    91.67%
Totals        45         45         34

Overall Classification Accuracy = 75.56%
----- End of Accuracy Totals -----

KAPPA (K^A) STATISTICS
-----
Overall Kappa Statistics = 0.7066
Conditional kappa for each Category.
-----
Class Name  Kappa
-----
Unclassified  0.0000
Solo Exposto  1.0000
Brejo         0.5179
Mata Ciliar   0.3415
Mata Nativa   1.0000
Corpos Dagua  0.5296
Area Urbana   0.7256
Pasto         0.8864

----- End of Kappa Statistics -----

```

Figura 09b – Estatística dos resultados da classificação não generalizada.

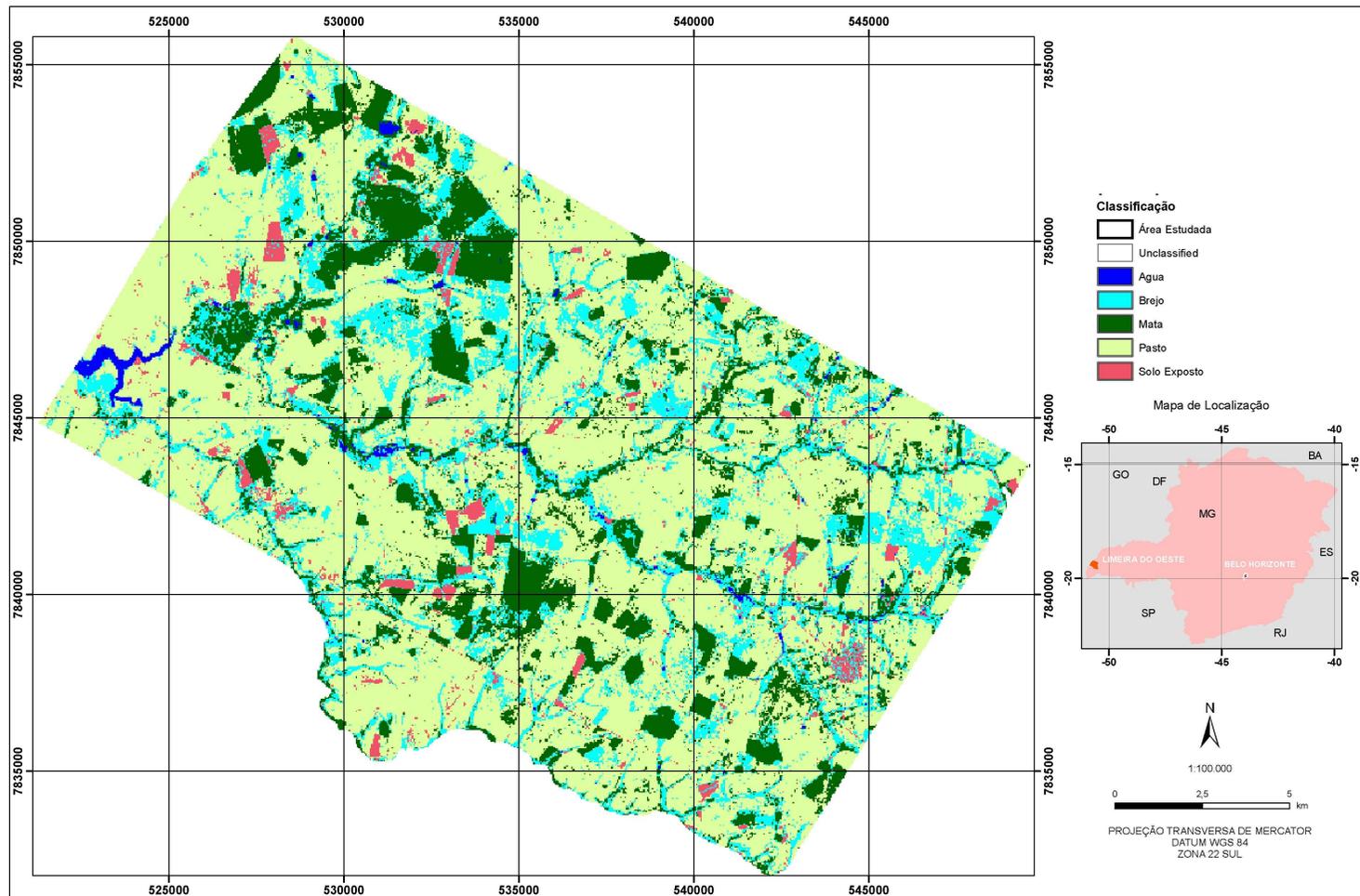


Figura 10a-Mapa de classificação generalizada.

```

.....

```

ERROR MATRIX				
Classified Data	Unclassifi	Reference Data		
		Agua	Brejo	Mata
Unclassified	0	0	0	0
Agua	0	7	3	0
Brejo	0	0	7	0
Mata	0	0	0	5
Pasto	0	0	0	0
Solo Exposto	0	0	0	0
Column Total	0	7	10	5

Classified Data	Pasto	Reference Data		Row Total
		Solo Expos		
Unclassified	0	0		0
Agua	0	0		10
Brejo	0	1		8
Mata	2	0		7
Pasto	10	1		11
Solo Exposto	0	8		8
Column Total	12	10		44

----- End of Error Matrix -----

ACCURACY TOTALS						
Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	
Unclassified	0	0	0	---	---	
Agua	7	10	7	100.00%	70.00%	
Brejo	10	8	7	70.00%	87.50%	
Mata	5	7	5	100.00%	71.43%	
Pasto	12	11	10	83.33%	90.91%	
Solo Exposto	10	8	8	80.00%	100.00%	
Totals	44	44	37			

Overall Classification Accuracy = 84.09%

----- End of Accuracy Totals -----

KAPPA (K^A) STATISTICS		
Class Name		Kappa
Unclassified		0.0000
Agua		0.6432
Brejo		0.8382
Mata		0.6777
Pasto		0.8750
Solo Exposto		1.0000

----- End of Kappa Statistics -----

Figura 10b-Estatística dos resultados da classificação generalizada.

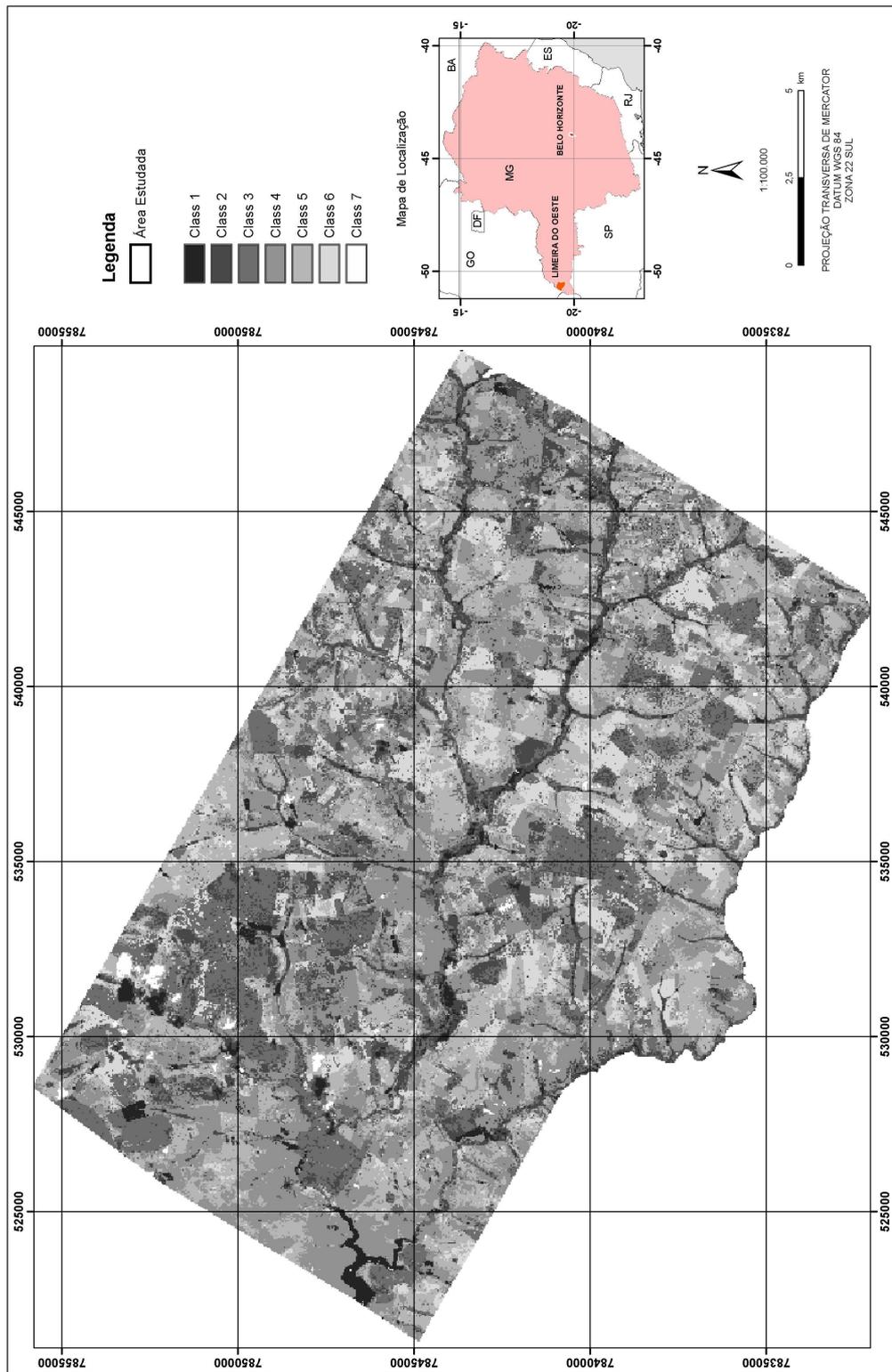


Figura 11 a –Mapa de classificação não supervisionada das classes não generalizadas.

CAPÍTULO 4-DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De acordo com os métodos utilizados, constatou-se que neste caso, quanto maior o número de classes, menor será a exatidão do mapeamento. Esse feito pode ser comprovado nas matrizes de classificação ilustradas nas Figuras 09b e 10b respectivamente.

Obtendo-se a média dos índices Kappa encontrados para a avaliação da classificação, o resultado foi considerado satisfatório, obtendo-se o nível de padrão muito bom, com um índice de 0,75325, que tem como índice máximo 1,0, classificado como excelente.

Na elaboração das classes para a geração da primeira classificação, onde foram utilizados sete classes, a exatidão total da classificação ficou em 75.56%, valor que pode ser explicado por haver valores espectrais muito semelhantes entre as classes solo exposto-área urbana, e mata ciliar - mata nativa, conforme a figura 7. A estatística total do índice kappa dessa classificação ficou 0.7066, valor considerado muito bom.

No segundo caso de classificação, onde foram agregadas as classes de solo exposto-área urbana, obtendo-se a classe "solo exposto", e mata nativa -mata ciliar, obtendo-se a classe "mata". A exatidão da classificação foi de 84,09 %, representando um aumento de 8,53 % de exatidão em relação à primeira classificação. A estatística total do índice kappa ficou em 7.999, valor que pode ser considerado de muito bom à excelente.

O uso do classificador do tipo MaxVer, obteve na média um desempenho muito satisfatório, considerando que nas duas etapas de classificação, a média dos índices de exatidão ficaram em 79,825 %.

Pode-se comprovar que com esse método que a exatidão da classificação está totalmente condicionada aos padrões de amostragem, e que mesmo conhecendo a área, as áreas de treinamento devem ser muito bem posicionadas para se alcançar melhores resultados.

Um fator importante a ser mencionado é que algumas classes só podem ser diferenciadas em campo, pois o nível de detalhamento necessário é superior à resposta espectral que a imagem Spot 4 oferece, como visto nas classes que foram generalizadas.

CAPÍTULO 5-CONCLUSÕES

As análises desenvolvidas neste trabalho mostraram-se muito úteis do ponto de vista prático e teórico.

O uso das técnicas de SIG e Sensoriamento remoto comprovaram que a área de geoprocessamento a cada dia se consolida como uma ferramenta fundamental na tomada de decisões em vários segmentos.

No caso das classificações automáticas, mais precisamente a classificação do tipo supervisionada, as aplicações podem ser utilizadas em vários segmentos, como urbano, rural, florestal, agrícola, turístico, etc.

Vale ressaltar que o software Erdas Imagine 8.7 possui ferramentas mais aprofundadas de classificação, e o presente trabalho propôs a apenas iniciar um processo de pesquisa a ser desenvolvido a partir do presente momento.

O software ArcView 9.0, mesmo utilizado como complemento das atividades desenvolvidas no Erdas Imagine 8.7, mostrou que possui uma interface bem amigável, além de possuir uma boa interoperabilidade com os demais softwares utilizados.

Para finalizar, a pesquisa serviu para consolidar de alguma forma, tanto a base teórica, quanto metodológica de todos os conhecimentos adquiridos no curso de especialização, mais precisamente na disciplina de processamento digital de imagens.

CAPÍTULO 6-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAD, ED.;SANO,E.E.,ed.Sistemas de Informações geográficas:aplicações na agricultura.Planaltina:EMBRAPA-CPAC,1993,274p.

CROSTA, ÁLVARO PENTEADO. 1999. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. Ed. Ver, IG/UNICAMP, Campinas-Sp, 164p.

CROSTA, ÁLVARO PENTEADO. 1993. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. Ed. Ver, IG/UNICAMP, Campinas-Sp, 170p.

INPE, 2003. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - SPRING: Conceitos. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/entrada.htm#inform>>. Acesso em: 18 de julho de 2003.

LAMPARELLI, RUBENS A.C.2001.Geoprocessamento e Agricultura de Precisão.Editora Agropecuária,121p.

SILVA, A. B. 1999. Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos. Editora da Unicamp. Campinas-SP.

SOARES FILHO, B. S. 2000. Cartografia Assistida por Computador - conceitos e métodos. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia - Centro de Sensoriamento Remoto – UFMG.

SOUZA, N. M, GANDOLFI, N. 1998. Sistemas de Informação Geográfica. In: Mini-curso: Cartografia Geotécnica e Geoprocessamento. XI COBRAMSEG - Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Brasília, pg. 44 a 59.

TEIXEIRA, A. L. A; CHRISTOFOLETTI, A. 1997. Sistemas de Informação Geográfica – Dicionário Ilustrado. Editora Hucitec. São Paulo, Brasil, 244 p.

TEIXEIRA, A. L. A; MORETTI, E; CHRISTOFOLETTI, A. 1992. Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica. Edição do Autor, Rio Claro, 80 p.