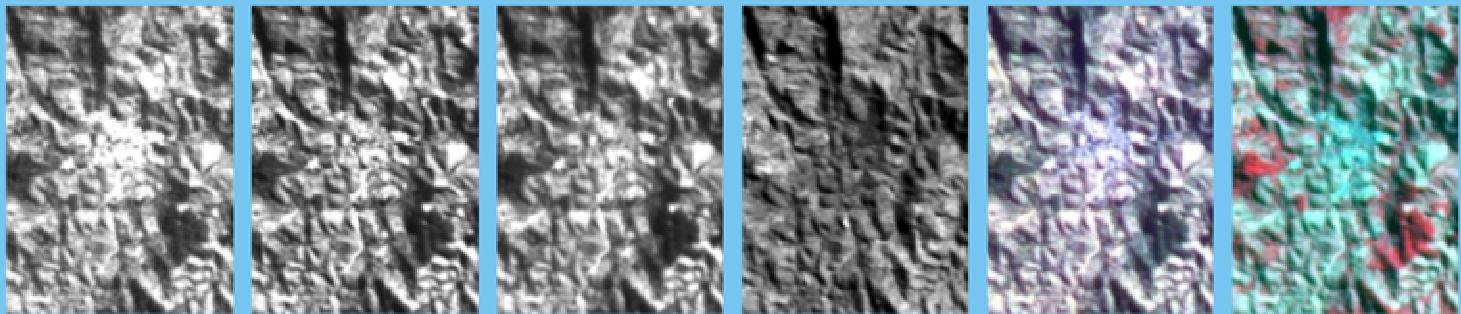


Alexandre Rosa dos Santos  
Telma Machado de Oliveira Peluzio  
Nathália Suemi Saito



AZUL                    VERDE                    VERMELHO                    INFRA-VERMELHO                    NORMAL                    FALSA-COR

IMAGENS ORIUNDAS DO SATÉLITE CBERS SOBRE O MUNICÍPIO DE ALEGRE, ES

# SPRING

## 5.1.2

PASSO A PASSO

- Visualizando Imagens de Satélites e Aerofotos Digitais
- Contraste de Imagens Digitais
- Transformação IHS <-> RGB de Imagens
- Filtragem de Imagens Digitais
- Operações Aritméticas entre Imagens
- Índices de Vegetação
- Classificação de Imagens de Satélite
- Análise de Componentes Principais



Parque de Exposição da Cidade de Alegre, ES

## Aplicações práticas

MUNDO DA GEOMÁTICA

<http://www.mundogeomatica.com.br>

## **Alexandre Rosa dos Santos**

Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e  
Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências  
Agrárias da UFES – CCA-UFES

## **Telma Machado de Oliveira Peluzio**

Engenheira Florestal e Mestranda do Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da UFES – CCA-UFES

## **Nathália Suemi Saito**

Engenheira Florestal e Mestranda do Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da UFES – CCA-UFES

# **SPRING 5.1.2 PASSO A PASSO**

## **Aplicações Práticas**

**Alegre - ES**  
**2010**

## **SPRING 5.1.2 PASSO A PASSO**

### **Aplicações Práticas**

Copyright © 2010, Dr. Alexandre Rosa dos Santos

#### **Capa**

Dr. Alexandre Rosa dos Santos – ERU/CCA-UFES  
Telma Machado de Oliveira Peluzio – PPGCF/CCA-UFES  
Nathália Suemi Saito – PPGCF/CCA-UFES

#### **Editoração Eletrônica**

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da UFES – PPGCF/CCA-UFES

#### **Revisão Técnica**

Alexandre Cândido Xavier  
Geraldo Régis Mauri

#### **Revisão Ortográfica**

Luciene Pinheiro de Souza – FAFIA; E.E.E.F.M. "Aristeu Aguiar"

#### **Contato**

<http://www.mundogeomatica.com.br>  
e-mail: mundogeomatica@yahoo.com.br  
Tel.: (28) 3552 8632 ou (28) 99260262

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Santos, Alexandre Rosa dos, 1974-  
S237s SPRING 5.1.2 : passo a passo : aplicações práticas / Alexandre Rosa dos Santos,  
Telma Machado de Oliveira Peluzio, Nathália Suemi Saito. – Alegre, ES : CAUFES,  
2010.  
153 p. : il. ; 30 cm.

ISBN 978-85-61890-06-3

1. Sensoriamento remoto. 2. Geomática. 3. Sistemas de coleta automática de dados. 4. Cartografia – Processamento de dados. 5. Geografia – Serviços de informação. I. Peluzio, Telma Machado de Oliveira. II. Saito, Nathália Suemi. III. Título. IV. Título: Passo a passo : aplicações práticas.

CDU: 528.8

**TODOS OS DIREITOS RESERVADOS** – O livro é gratuito podendo ser impresso. A violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610/98) é crime (art. 184 do Código Penal). Depósito legal na Biblioteca Nacional, conforme Decreto nº 1.825, de 20/12/1907. O autor é seu professor, respeite-o, sempre citando seu nome em possíveis publicações.



Tel.: (28) 3552-4169

Rua Monsenhor Pavesi, 275, Centro, Alegre – ES  
e-mail: graficafm@hotmail.com

## **DEDICATÓRIA**

Nós, autores, dedicamos este livro aos familiares que sempre acreditaram em nossos trabalhos.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em especial ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da UFES (PPGCF/UFES) e Departamento de Engenharia Rural da UFES (ERU/UFES).

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da UFES - PPGCF/UFES pela contribuição e apoio para elaboração deste livro.

À Prefeitura Municipal de Alegre por ter disponibilizado parte da base de dados, além de fornecer apoio logístico para a coleta de informações em campo.

Aos órgãos Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) e Núcleo de Estudos e de Difusão de Tecnologia em Floresta, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável (NEDTEC), que disponibilizaram parte do banco de dados espaciais para a elaboração dos exercícios deste livro.

Em especial, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste livro.

## **COLABORADORES**

**UFES** - Universidade Federal do Espírito Santo.

**PPGCF/UFES** - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UFES.

**NEDTEC/UFES** - Núcleo de Estudos e de Difusão de Tecnologia em Floresta, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável.

**IJSN** - Instituto Jones dos Santos Neves.

**ERU/UFES** - Departamento de Engenharia Rural da UFES.

**PMA** - Prefeitura Municipal de Alegre, ES.

**IEMA** - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

**INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

## REFLEXÃO

### SATÉLITE

Fim de tarde.  
No céu plúmbeo  
A Lua baça  
Paira  
Muito cosmograficamente  
Satélite.

Desmetaforizada,  
Desmitificada,  
Despojada do velho segredo de melancolia,  
Não é agora o golfão de cismas,  
O astro dos loucos e dos enamorados.  
Mas tão-somente  
Satélite.

Ah Lua deste fim de tarde,  
Demissionária de atribuições românticas,  
Sem show para as disponibilidades sentimentais!

Fatigado de mais-valia,  
Gosto de ti assim:  
Coisa em si,  
- Satélite.

Manuel Bandeira

## FABRICANTE

**Produto:** SPRING: Sistema de Informações Georeferenciadas

Com o objetivo de disseminar amplamente as técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, o **SPRING**, nas versões Linux e Windows 95/98/NT/ME/2000/XP/Vista, pode ser obtido livremente ("freeware") via Internet.

Você poderá copiar e redistribuir livremente o sistema, mas o INPE mantém o copyright. Não se pode modificar, vender ou emprestar o software.

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

O SPRING é um projeto do INPE / DPI (Divisão de Processamento de Imagens) com a participação de:

- EMBRAPA/CNPTIA - Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para Agricultura.
- IBM Brasil - Centro Latino-Americano de Soluções para Ensino Superior e Pesquisa.
- TECGRAF - PUC Rio - Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica da PUC-Rio.
- PETROBRÁS/CENPES - Centro de Pesquisas "Leopoldo Miguez".

O projeto contou com substancial apoio financeiro do CNPq, através dos programas RHAE e PROTEM/CC (projeto GEOTEC).

**Home-page:** <http://www.dpi.inpe.br/spring/>

**Nota:** Todas as marcas e imagens de hardware, software e outros, utilizados e/ou mencionados nesta obra, são propriedades de seus respectivos fabricantes e/ou criadores. O autor se responsabiliza totalmente pelo conteúdo descrito no livro. O objetivo do autor é disponibilizar para os usuários do aplicativo Spring 5.1.2 um material de referência para suas aplicações práticas e teóricas relacionadas com os dados espaciais, contribuindo de forma positiva com o fabricante, pois mais usuários irão se interessar e adquirir o produto.

## REQUISITOS BÁSICOS DE HARDWARE

Os requisitos para ambiente Windows são:

- Computador - PC, com CPU de velocidade de 500 MHz ou superior com 64 MB de memória (128 Mb recomendados);
- 70 MB de espaço em disco para instalação do software, com 50 MB adicionais para exemplos;
- Sistema Operacional: Windows 95/98/ME/NT/XP/Vista.

## PREFÁCIO

Nós temos trabalhado com o aplicativo SPRING desde as versões anteriores e, cada versão lançada, nos impressionava ainda mais. Atualmente, as características técnicas do SPRING 5.1.2. são consideradas imprescindíveis, possibilitando a coleta, edição, armazenamento e gerência de dados espaciais, assim como a exploração, análise geográfica e a visualização destes dados.

Um dos pontos fortes do SPRING 5.1.2. é a sua diversidade de aplicações em diferentes áreas do conhecimento, apresentando um “caráter” multidisciplinar, possibilitando o uso de ferramentas específicas para cada atividade a ser executada, sendo dispensável a utilização de outros aplicativos computacionais concorrentes.

Este livro foi idealizado a partir da necessidade de se criar um material prático, inteligente, objetivo, rápido e de fácil entendimento a todos os leitores.

Apresentando exercícios aplicáveis para dados espaciais, este livro tem por objetivo atingir diferentes faixas de usuários do mercado porque não se limita a ensinar comandos ou funções complexas. O livro apresenta ao leitor, claramente, o tipo de atividade que ele irá desenvolver e explica passo a passo todos os procedimentos necessários para a sua execução.

# ÍNDICE ANALÍTICO

DEDICATÓRIA.....	3
AGRADECIMENTOS.....	3
COLABORADORES.....	3
REFLEXÃO.....	4
FABRICANTE.....	4
REQUISITOS BÁSICOS DE HARDWARE .....	5
PREFÁCIO.....	5
ÍNDICE ANALÍTICO.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABELA.....	9
<b>CAPÍTULO 1 - VISUALIZANDO IMAGENS DE SATÉLITES E AEROFOTOS DIGITAIS.....</b>	<b>10</b>
1.1. CONHECENDO O SPRING 5.1.2.....	10
1.2. HISTÓRICO DO SPRING 5.1.2.....	10
1.3. AQUISIÇÃO GRATUITA DO SPRING 5.1.2.....	11
1.4. VISUALIZANDO IMAGENS DOS SATÉLITES CBERS, LANDSAT E IKONOS.....	12
1.5. VISUALIZANDO AEROFOTOS DIGITAIS DA CIDADE DE ALEGRE, ES.....	33
<b>CAPÍTULO 2 - CONTRASTE DE IMAGENS DIGITAIS.....</b>	<b>38</b>
2.1. INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS.....	38
2.2. CONTRASTE DE IMAGENS.....	39
<b>CAPÍTULO 3 - TRANSFORMAÇÃO IHS &lt; - &gt; RGB DE IMAGENS.....</b>	<b>51</b>
3.1. TRANSFORMAÇÃO IHS < - > RGB DE IMAGENS.....	51
<b>CAPÍTULO 4 - FILTRAGEM DE IMAGENS DIGITAIS.....</b>	<b>60</b>
4.1. FILTRAGEM DE IMAGENS.....	60
<b>CAPÍTULO 5 - OPERAÇÕES ARITMÉTICAS ENTRE IMAGENS.....</b>	<b>77</b>
5.1. NORMALIZAÇÃO RADIOMÉTRICA DE IMAGENS DO SATÉLITE CBERS PARA O QUADRANTE REPRESENTATIVO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALEGRE, ES.....	77
<b>CAPÍTULO 6 - ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....</b>	<b>90</b>
6.1. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO.....	90
<b>CAPÍTULO 7 - CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE.....</b>	<b>98</b>
7.1. CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS.....	98
7.2. CLASSIFICAÇÃO "PIXEL A PIXEL" E POR REGIÃO.....	99
7.3. CLASSE INFORMAL E CLASSE ESPECTRAL.....	100
7.4. CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA E NÃO-SUPERVISIONADA.....	100
7.5. ALGORITMOS DE CLASSIFICAÇÃO.....	101
7.6. MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO USANDO O MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE MÁXIMA VEROSIMILHANÇA (MAXVER).....	108
7.7. MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO USANDO O MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE BHATTACHARYA.....	128
7.8. MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO USANDO O MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO NÃO-SUPERVISIONADA ISOSEG.....	136
7.9. TRABALHOS CIENTÍFICOS RELACIONADOS COM CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS...	140
<b>CAPÍTULO 8 – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS</b>	<b>142</b>
8.1. INTRODUÇÃO.....	142
8.2. ELABORAÇÃO DE IMAGENS DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	142
8.3. EXEMPLO DE APLICAÇÃO.....	146

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1 - Home-page do Programa CBERS.....</b>	12
<b>Figura 1.2 - Home-pages: a) Mundo da Geomática e b) Livro Spring 5.1.2: aplicações práticas.....</b>	14
<b>Figura 1.3 - Pasta Livro_Spring_Alegre_ES extraída dentro da Unidade C.....</b>	14
<b>Figura 1.4 - Locais importantes da cidade de Alegre, ES sobre a imagem IKONOS.....</b>	32
<b>Figura 1.5 - Parque de exposição da cidade de Alegre.....</b>	34
<b>Figura 1.6 - Centro de Ciências Agrárias da UFES – CCA-UFES.....</b>	34
<b>Figura 1.7 - Região central da cidade de Alegre.....</b>	34
<b>Figura 1.8 - Cobertura de imagens CBERS para o município de Cachoeiro de Itapemirim, ES.....</b>	36
<b>Figura 1.9 - Amostras de categorias de uso e ocupação de solo extraídas de uma imagem do satélite QUICK BIRD com resolução espacial de 60 cm em composição normal e falsa-cor.....</b>	37
<b>Figura 2.1 - Etapas do processamento digital de imagens.....</b>	38
<b>Figura 2.2 - Área 1 - quadrante representativo do Campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) – Imagem do satélite QUICKBIRD em composição falsa cor – resolução espacial de 2,4 m.....</b>	40
<b>Figura 2.3 - Histograma e imagem antes (a) e após (b) a aplicação do contraste (contraste linear) no SPRING 5.1.2.....</b>	41
<b>Figura 2.4 - Histograma e imagem antes (a) e após (b) a aplicação do contraste (contraste linear) no SPRING 5.1.2.....</b>	41
<b>Figura 2.5 - Função de mapeamento.....</b>	41
<b>Figura 3.1 - Relação espacial entre o sistema RGB e IHS.....</b>	52
<b>Figura 3.2 - Comparação entre imagens em falsa cor do satélite QUICBIRD antes e após a transformação IHS.....</b>	53
<b>Figura 3.3 - Última imagem em falsa-cor exibida no Capítulo 2.....</b>	53
<b>Figura 3.4 - Ampliação de imagens em falsa cor da área central da UFES (biblioteca central). a) resolução espacial de 0,6 m oriunda da transformação IHS &lt;-&gt; RGB e, b) resolução espacial de 2,4 m antes da transformação IHS &lt;-&gt; RGB.....</b>	58
<b>Figura 3.5 - Ampliação de uma imagem em falsa cor (resolução de 0,6 m) oriunda de uma transformação IHS &lt;-&gt; RGB da área representativa do Campus da UFES Central, Vitória, ES.....</b>	58
<b>Figura 3.6 - Transformação IHS &lt;-&gt; RGB - Composição Normal – Bandas do azul, verde e vermelho.....</b>	59
<b>Figura 4.1 - Máscaras dos filtros de Passa Baixa-Média 3x3, 5x5 e 7x7.....</b>	61
<b>Figura 4.2 - Comparação entre diferentes filtros Passa Baixa-Média sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.....</b>	61
<b>Figura 4.3 - Máscaras dos filtros de Passa Baixa Média Ponderada 3x3.....</b>	61
<b>Figura 4.4 - Aplicação do filtro de passa baixa média ponderada (3 x 3) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.....</b>	62
<b>Figura 4.5 - Exemplos de máscaras de filtros de Passa Alta 3 x 3.....</b>	62
<b>Figura 4.6 - Aplicação do filtro de passa-alta (3 x 3) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.....</b>	62
<b>Figura 4.7 - Principais máscaras direcionais de realce de bordas.....</b>	63
<b>Figura 4.8 - Aplicação do filtro direcional de realce de bordas Norte (3 x 3) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.....</b>	63
<b>Figura 4.9 - Exemplos de máscaras de filtros não direcionais de realce de bordas.....</b>	63
<b>Figura 4.10 - Aplicação do filtro não-direcional de realce de bordas baixa (3 x 3) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.....</b>	64
<b>Figura 4.11 - Máscara de realce para imagens do satélite TM/LANDSAT.....</b>	64
<b>Figura 4.12 - Aplicação do filtro de realce para imagens do satélite TM/LANDSAT (4 x 4) sobre a banda infravermelho do satélite TM/LANDSAT representativa do município de Alegre, ES.....</b>	64
<b>Figura 4.13 - Máscara representativa do operador de Roberts.....</b>	65
<b>Figura 4.14 - Aplicação da filtragem não linear para detecção de bordas utilizando o operador de Roberts sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.....</b>	65
<b>Figura 4.15 - Máscaras do operador de Sobel.....</b>	65
<b>Figura 4.16 - Aplicação da filtragem não linear para detecção de bordas utilizando o operador de Sobel sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.....</b>	66
<b>Figura 4.17 - Exemplo para aplicação dos filtros morfológicos.....</b>	66
<b>Figura 4.18 - Aplicação da filtragem não linear morfológica de mediana sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.....</b>	67
<b>Figura 4.19 - Aplicação da filtragem não linear Morfológico-Erosão sobre a banda infravermelho do</b>	67

<b>satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.....</b>	68
<b>Figura 4.20 - Aplicação da filtragem não linear Morfológico-Dilatação sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.....</b>	68
<b>Figura 4.21 - Máscaras comumente utilizadas para filtros morfológicos.....</b>	68
<b>Figura 4.22 - Abertura de uma imagem: aplicação encadeamento de filtros (erosão seguido de dilatação) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.....</b>	69
<b>Figura 4.23 - Fechamento de uma imagem: aplicação encadeamento de filtros (dilatação seguido de erosão) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.....</b>	69
<b>Figura 4.24 - Banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES, antes (a) e após (b) a aplicação do filtro de Passa Baixa-Média 3 x 3.....</b>	72
<b>Figura 4.25 - Coordenadas geográficas do pixel a ser testado após a filtragem de Passa Baixa-Média.....</b>	72
<b>Figura 4.26 - Características do pixel a ser filtrado.....</b>	73
<b>Figura 4.27 - Valores nos níveis de cinza dos pixels vizinhos e central: a) máscara da imagem de origem e b) da imagem filtrada.....</b>	73
<b>Figura 4.28 - Representação da máscara do Filtro de Passa Baixa-Média 3 x 3, valores dos níveis de cinza da imagem original e imagem filtrada.....</b>	73
<b>Figura 4.29 - Banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES, antes (a) e após (b) a aplicação do Filtro de Passa Baixa-Média 5 x 5.....</b>	75
<b>Figura 4.30 - Banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES, antes (a) e após (b) a aplicação do filtro de Passa Baixa-Média (7 x 7).....</b>	76
<b>Figura 5.1 - Trabalho publicado no XI SBSR.....</b>	79
<b>Figura 5.2 - Comparação entre as imagens de referência, ajuste e normalizada.....</b>	89
<b>Figura 5.3 - Comparação entre o histograma das imagens de referência, ajuste e normalizada.....</b>	89
<b>Figura 6.1 - Comparação entre o NDVI de áreas vegetadas (a) e não vegetadas com presença de edificações (b).....</b>	95
<b>Figura 6.2 - NDVI na Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES, para os anos de 1985 e 2007.....</b>	96
<b>Figura 6.3 - Variação temporal da cobertura vegetal da Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES, entre os anos de 1985 e 2007.....</b>	96
<b>Figura 6.4 - Trabalho publicado no XIV SBSR.....</b>	97
<b>Figura 7.1 - Uso e ocupação do solo gerado pelo algoritmo de classificação da máxima verossimilhança (Maxver) de uma área pertencente ao bairro Pavuna, Alegre, ES.....</b>	98
<b>Figura 7.2 - Imagem numérica oriunda da composição colorida em falsa-cor (a) e imagem classificada (b).....</b>	99
<b>Figura 7.3 - Etapas necessárias para a classificação supervisionada.....</b>	100
<b>Figura 7.4 - Esquema de aplicação do algoritmo de classificação do paralelepípedo (EASTMAN, 1998, adaptado).....</b>	103
<b>Figura 7.5 - Esquema de aplicação do algoritmo de classificação da distância mínima euclidiana (EASTMAN, 1998, adaptado).....</b>	104
<b>Figura 7.6 - Limite de decisão.....</b>	105
<b>Figura 7.7 - Esquema de aplicação do algoritmo de classificação da máxima verossimilhança (EASTMAN, 1998, adaptado).....</b>	105
<b>Figura 7.8 - Resultados estatísticos da classificação supervisionada usando o método da Máxima Verossimilhança (MAXVER).....</b>	120
<b>Figura 7.9 - Modelo do layout elaborado no programa Scarta.....</b>	127
<b>Figura 7.10 - Amostras de treinamento selecionadas.....</b>	132
<b>Figura 7.11 - Resultados estatísticos da classificação supervisionada usando o método de Bhattacharya.....</b>	136
<b>Figura 7.12 - Resultados estatísticos da classificação não-supervisionada pelo método Ioseg.....</b>	140
<b>Figura 8.1 - Telas no SPRING representativas das imagens do satélite IKONOS.....</b>	143
<b>Figura 8.2 - Telas no SPRING representativas das imagens dos componentes principais processados.....</b>	145
<b>Figura 8.3 - Resultados estatísticos da análise de componentes principais.....</b>	145
<b>Figura 8.4 - Amostra de uma imagem do satélite IKONOS. a) Banda 3 (Vermelho) e b) Banda 4 (Infravermelho).....</b>	146
<b>Figura 8.5 - Dispersão de 9 tratamento em relação aos componentes principais <math>Y_1</math> e <math>Y_2</math> .....</b>	153
<b>Figura 8.6 - Valores digitais (níveis de cinza) das bandas espectrais do vermelho (banda 3)(<math>X_1</math>) e infravermelho (banda 4) (<math>X_2</math>) e da componente principal 1 (<math>Y_1</math>).....</b>	154
<b>Figura 8.7 - Valores digitais (níveis de cinza) das bandas espectrais do vermelho (banda 3)(<math>X_1</math>) e infravermelho (banda 4) (<math>X_2</math>).....</b>	154

# ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.1 - Imagens dos satélites CBERS, LANDSAT 7 e IKONOS correspondentes área de estudo.....</b>	13
<b>Tabela 1.2 - Modelos de dados disponíveis no Spring.....</b>	19
<b>Tabela 1.3 - Imagens dos satélites LANDSAT e IKONOS representativas da área estudo.....</b>	30
<b>Tabela 1.4 - Composição colorida normal das aeroftos digitais representativas da área estudo.....</b>	33
<b>Tabela 2.1 - Imagens do satélite QUICKBIRD oriundas do quadrante representativo do Campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).....</b>	39
<b>Tabela 2.2 - Características dos métodos de realce de contraste disponibilizados no SPRING 5.1.2.....</b>	42
<b>Tabela 2.3 - Bandas espectrais do satélite QUICKBIRD disponibilizadas no banco de dados [UFES].....</b>	50
<b>Tabela 2.4 - Métodos de realce de imagem a serem utilizados no SPRING .....</b>	50
<b>Tabela 3.1 - Imagens do satélite QUICKBIRD oriundas do quadrante representativo do Campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).....</b>	52
<b>Tabela 5.1 - Comparação dos valores de média e variância das imagens de referência, ajuste e normalizada.....</b>	88
<b>Tabela 7.1 - Algoritmos de classificação mais comuns.....</b>	101
<b>Tabela 7.2 - Resultado estatístico de cinco classes nas bandas 4 e 5.....</b>	107
<b>Tabela 7.3 - Nome e cor das amostras de treinamento a serem criadas.....</b>	110
<b>Tabela 7.4 - Intervalo de aceitação dos resultados do índice Kappa.....</b>	113
<b>Tabela 7.5 - Nome e cor das classes a serem criadas.....</b>	117
<b>Tabela 7.6 - Temas e suas classes respectivas de associação.....</b>	118
<b>Tabela 7.7- Resultados estatísticos da classificação supervisionada usando o método da Máxima Verossimilhança (MAXVER).....</b>	120
<b>Tabela 7.8- Nome e cor das amostras de treinamento a serem criadas.....</b>	132
<b>Tabela 7.9- Resultados estatísticos da classificação supervisionada usando o método de Bhattacharya.....</b>	136
<b>Tabela 7.10- Temas e suas respectivas classes.....</b>	138
<b>Tabela 7.11- Resultados estatísticos da classificação não-supervisionada pelo método Isoseg.....</b>	139
<b>Tabela 8.1 - Imagens do satélite IKONOS do quadrante representativo do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.....</b>	142
<b>Tabela 8.2 - Observações relativas a duas variáveis (X1 e X2) avaliadas em 9 indivíduos (tratamentos).....</b>	147
<b>Tabela 8.3 - Escores relativos aos 9 tratamentos obtidos em relação aos 2 componentes principais.....</b>	152
<b>Tabela 8.4 - Componentes principais obtidos da análise de duas variáveis.....</b>	153

	<b>Visualizando Imagens de Satélites e Aerofotos Digitais</b>	<b>01</b> <b>CAPÍTULO</b>
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------	------------------------------

Este capítulo tem como objetivo principal apresentar o aplicativo SPRING 5.1.2 àqueles que ainda não conhecem essa fabulosa ferramenta para se trabalhar com dados espaciais. As informações descritas neste capítulo foram extraídas do próprio “SISTEMA DE AJUDA DO SPRING 5.1.2”, aliadas à descrição das atividades práticas de sensoriamento remoto desenvolvidas para o quadrante representativo da bacia hidrográfica do Rio Alegre, ES, situada no município de Alegre, extremo Sul do Estado do Espírito Santo.

Os assuntos abordados neste capítulo serão:

- Conhecendo o SPRING 5.1.2.
- Histórico e objetivos do SPRING 5.1.2.
- Visualizando imagens dos satélites CBERS, LANDSAT e IKONOS (imagens de 42,21 KB).
- Visualizando aerofotos digitais da cidade de Alegre, ES.

## **1.1 - CONHECENDO O SPRING 5.1.2**

O produto SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas) é um banco de dados geográfico, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para ambientes UNIX e Windows com as seguintes características:

- Opera como um banco de dados geográficos 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;
- Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (“raster”), e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto num SIG;
- Prove um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfico baseada em Álgebra);
- Consegue escalonabilidade completa, isto é, ser capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde microcomputadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho.

Para alcançar estes objetivos, o SPRING é baseado num modelo de dados orientado a objetos, do qual são derivadas sua interface de menus e a linguagem espacial LEGAL. Algoritmos inovadores, como os utilizados para indexação espacial, segmentação de imagens e geração de grades triangulares, garantem o desempenho adequado para as mais variadas aplicações.

Outra característica, considerada 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 microcomputador (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.

## **1.2 – HISTÓRICO DO SPRING 5.1.2**

O desenvolvimento de uma nova geração de sistemas de processamento de imagens e geoprocessamento no INPE iniciou-se em 1991 e teve seu primeiro resultado concreto em 1993, com o lançamento da versão 1.0 do SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas). A evolução do sistema SPRING durante os anos levou ao lançamento em 1996 da versão 2.0; em maio de 1998, a versão 3.0 (Windows); em outubro de 1998, a versão 3.1.1; em janeiro de 1999, a versão 3.2 (Windows); em maio

de 1999, a versão 3.3 (Windows); em maio de 2000, a versão 3.4 (Windows); em março de 2001, a versão 3.5 (Windows e Linux); em agosto de 2003, a versão 4.0 (Windows); em julho de 2004, a versão 4.1 (Windows); em março de 2005, a versão 4.1 (Linux); em setembro de 2005, a versão 4.2 (Windows); em julho de 2006, a versão 4.3 (Windows e Linux); em julho de 2008, a versão 5.0 (Windows e Linux). Atualmente, encontra-se disponibilizado, a versão 5.1.2 (Windows e Linux) para Sistemas Operacionais de 32 bits.

O SPRING tem se mostrado uma opção altamente atrativa na área de geoprocessamento, pois é um software de domínio público, podendo ser adquirido pela internet ("<http://www.dpi.inpe.br/spring>"), bastando se cadastrar na própria "home-page".

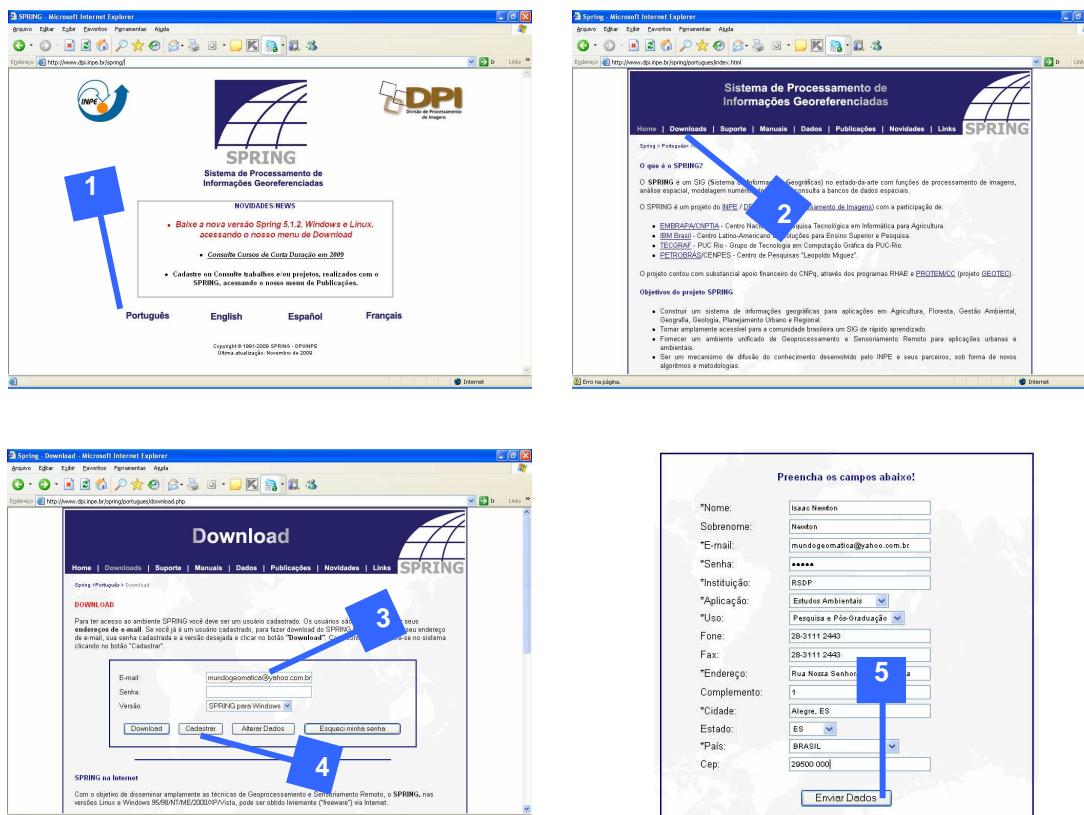
### 1.3 – AQUISIÇÃO GRATUITA DO SPRING 5.1.2

Para aquisição gratuita do SPRING 5.1.2 (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas) basta acessar a home-page <http://www.dpi.inpe.br/spring>.

Na home-page <http://www.dpi.inpe.br/spring> siga os seguintes passos:

1. Clique no link **Português**.
2. Na home-page <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html> clique no link **download**.
3. Na home-page <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/download.php>, digite seu e-mail no campo **e-mail**.
4. Clique no botão **Cadastro**. Caso você já tenha realizado o cadastro, basta digitar seu e-mail e senha.
5. Na página de cadastro, preencha os campos em brancos e clique no botão **Enviar Dados**.

Agora basta acessar novamente a home-page de download do SPRING 5.1.2 para fazer sua aquisição gratuita com seu e-mail e senha já cadastrados.



## **1.4 – VISUALIZANDO IMAGENS DOS SATÉLITES CBERS, LANDSAT E IKONOS**

Nesta etapa, você irá visualizar imagens dos satélites CBERS, LANDSAT e IKONOS de áreas representativas da bacia hidrográfica do Rio Alegre, ES, situadas no município de Alegre, extremo Sul do Estado do Espírito Santo.

As imagens dos satélites (CBERS e LANDSAT) a serem utilizadas foram obtidas gratuitamente na home-page do Programa CBERS (Figura 1.1) disponibilizada na página do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, (<http://www.cbers.inpe.br>).



Figura 1.1. Home-page do Programa CBERS.

As bandas espectrais dos satélites CBERS, LANDSAT 7 e IKONOS (imagens de 42,21 KB) correspondentes à área de estudo, que serão utilizadas neste capítulo, são as descritas na Tabela 1.1. Estas são representativas das seguintes datas:

- Imagens do satélite CBERS: 21 de julho de 2008.
- Imagens do satélite LANDSAT 7: 30 de maio de 2001 e 05 de agosto de 2002.
- Imagens do satélite IKONOS: 01 de dezembro de 2002.

## Capítulo 1 – Visualizando Imagens de Satélites e Aerofotos Digitais

Tabela 1.1. Imagens dos satélites CBERS, LANDSAT 7 e IKONOS correspondentes área de estudo.

SATÉLITE CBERS (21/07/08)		
BANDAS ESPECTRAIS CÂMERA CCD	INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA ( $\mu m$ )	FAIXA ESPECTRAL
Banda1_210708	0,45 - 0,52 (20 m)	Azul
Banda2_210708	0,52 - 0,59 (20 m)	Verde
Banda3_210708	0,63 - 0,69 (20 m)	Vermelho
Banda4_210708	0,77 - 0,89 (20 m)	Infravermelho próximo
Banda5_210708	0,51 - 0,73 (20 m)	Pancromática

SATÉLITE LANDSAT 7		
BANDAS ESPECTRAIS SENSOR ETM+	INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA ( $\mu m$ )	FAIXA ESPECTRAL
30/05/2001	05/08/2002	
b1_300501	b1_050802	0.45 - 0.52 (30 m)
b2_300501	b2_050802	0.53 - 0.61 (30 m)
b3_300501	b3_050802	0.63 - 0.69 (30 m)
b4_300501	b4_050802	0.78 - 0.90 (30 m)
b5_300501	b5_050802	1.55 - 1.75 (30 m)
b6_300501	b6_050802	10.4 - 12.5 (60 m)
b7_300501	b7_050802	2.09 - 2.35 (30 m)
b8_300501	b8_050802	0.52 - 0.90 (15 m)

SATÉLITE IKONOS (01/12/02)		
BANDAS ESPECTRAIS	INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA ( $\mu m$ )	FAIXA ESPECTRAL
Ikonos_band_1	0.45 - 0.52 (4 m)	Azul
Ikonos_band_2	0.52 - 0.60 (4 m)	Verde
Ikonos_band_3	0.63 - 0.69 (4 m)	Vermelho
Ikonos_band_4	0.76 - 0.90 (4 m)	Infravermelho

### **OBSERVAÇÃO**

O satélite IKONOS II foi lançado no dia 24 de setembro de 1999, está operacional desde o início de janeiro de 2000 sendo operado pela SPACE IMAGING que detém os direitos de comercialização em todo o mundo fora da Índia. Portanto, visando não comprometer os direitos de comercialização da SPACE IMAGING, neste livro, as imagens dos satélites IKONOS são disponibilizadas num tamanho reduzido (pequena amostra equivalente a uma área de 0,7 km<sup>2</sup>) com tamanho de 42,21 KB. Abaixo, seguem os contatos comerciais da SPACE IMAGING do Brasil:

Endereço: Rua da Assembleia 10 S1. 4015 Centro - CEP: 20011-901 Rio de Janeiro, RJ

Telefones: (55) \*\* 21 2102-7070 / (55) \*\* 21 2102-7080 (FAX)

Home-page: <http://www.spaceimaging.com.br>

### **❖ PREPARAÇÃO DA BASE DADOS NO WINDOWS EXPLORER**

Para realizar o download gratuito do livro SPRING 5.1.2: aplicações práticas basta acessar a home-page do *Mundo da Geomática* (Figura 1.2) que apresenta o seguinte endereço eletrônico: <http://www.mundogeomatica.com.br>.

Nesta home-page, você deverá clicar na imagem representativa do livro SPRING 5.1.2: aplicações práticas indo para a página <http://www.mundogeomatica.com.br/spring5x.htm>. Na home-page do livro você poderá fazer o download gratuito dos seguintes materiais:

- Livro SPRING 5.1.2: aplicação prática.
- Banco de dados *Livro\_Spring\_Alegre\_ES.rar*.
- SPRING 5.1.2 (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas).

## Capítulo 1 – Visualizando Imagens de Satélites e Aerofotos Digitais



Figura 1.2. Home-page Mundo da Geomática.

A base de dados (*Livro\_Spring\_Alegre\_ES.rar*) necessária para a elaboração das atividades previstas neste livro é referente ao quadrante representativo da bacia hidrográfica do Rio Alegre, ES, situada no município de Alegre, extremo Sul do Estado do Espírito Santo. Após sua aquisição, esta deverá ser extraída para dentro da **Unidade C** de seu computador. A Figura 1.3 mostra como deverá ficar a **Unidade C** após a extração da pasta *Livro\_Spring\_Alegre\_ES*.

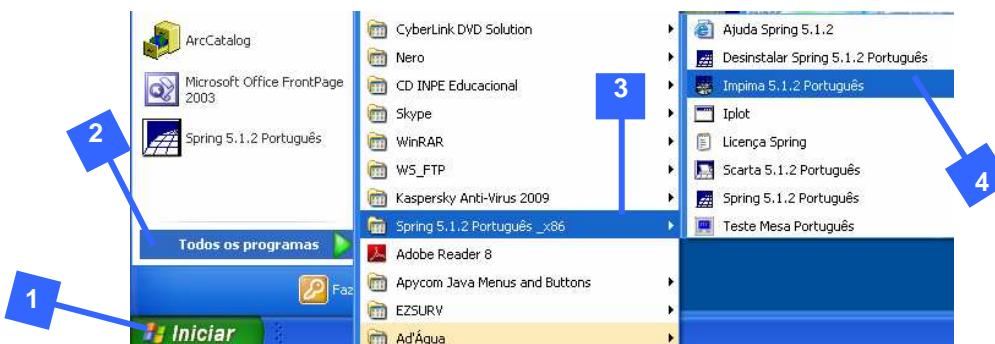


Figura 1.3. Pasta *Livro\_Spring\_Alegre\_ES* extraída dentro da Unidade C.

### ❖ ABRINDO O SPRING 5.1.2

Para iniciar o SPRING 5.1.2, você deve seguir os seguintes passos:

1. Clique no botão **Iniciar** da barra do Windows.
2. Clique sobre o nome **Todos Programas**.
3. Clique sobre o nome **Spring 5.1.2 Português \_x86**.
4. Novamente, clique sobre o nome **Spring 5.1.2 Português**.



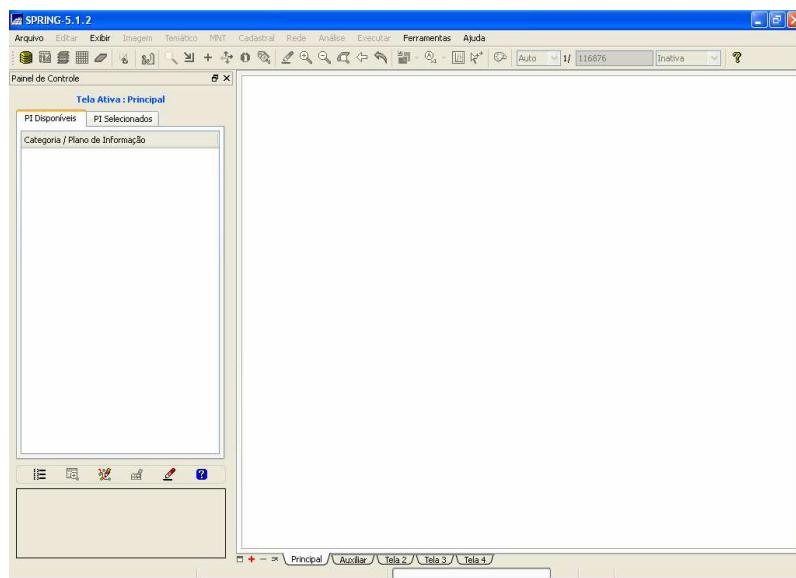
## Capítulo 1 – Visualizando Imagens de Satélites e Aerofotos Digitais

Abaixo é mostrada a janela inicial intitulada “Novidades Spring 5.1.2”. Se desejar, visualize algumas novidades desta nova versão.

### 5. Feche a janela **Novidades Spring 5.1.2**.



Abaixo é demonstrada a janela principal do SPRING 5.1.2.



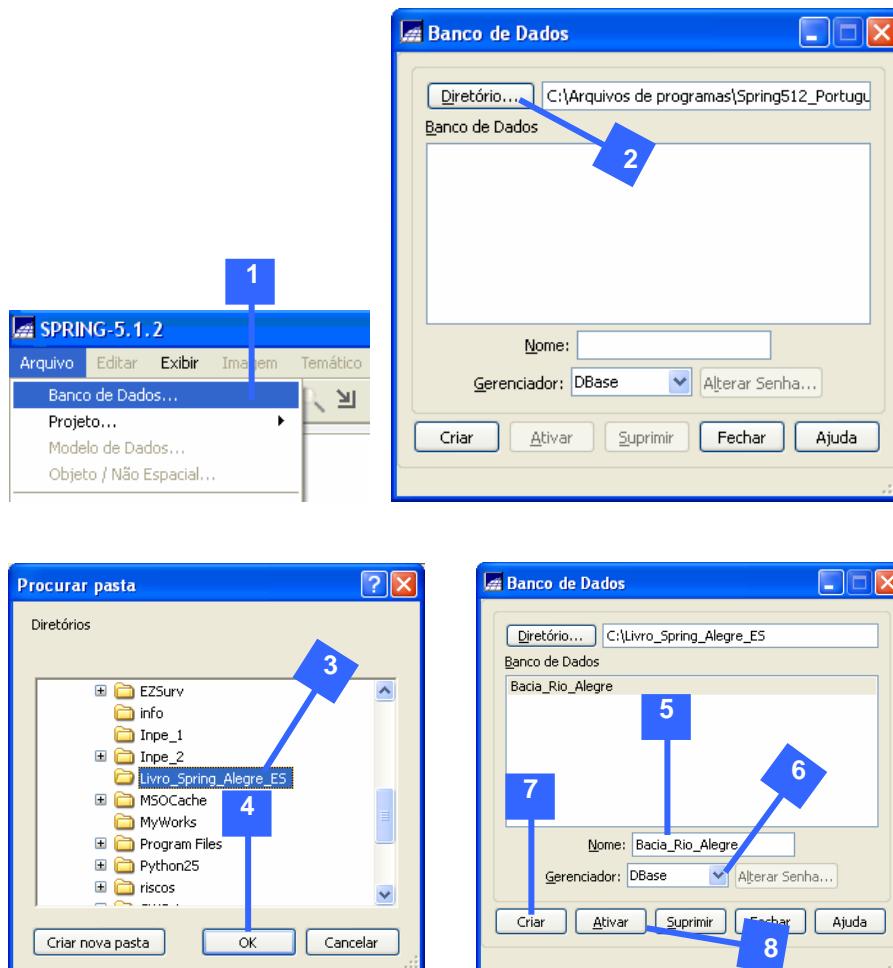
### ❖ **CRIAÇÃO DO BANCO DE DADOS**

Um Banco de Dados no Spring corresponde fisicamente a um diretório onde serão armazenados tanto o Modelo de Dados, com suas definições de Categorias e Classes, quanto os Projetos pertencentes ao banco de dados. Os projetos são armazenados em subdiretórios juntamente com seus arquivos de dados: pontos, linhas, imagens orbitais e aéreas, imagens temáticas, textos, grades e objetos.

Inicialmente, você irá criar um banco para, então, ativá-lo e inserir dados no mesmo.

#### 1. No menu **Arquivo**, clique na opção **Banco de Dados**.

2. Na caixa de diálogo **Banco de Dados**, clique no botão **Diretório**.
3. Na caixa de diálogo, selecione o diretório **Livro\_Spring\_Alegre\_ES** localizado na Unidade **C** do seu computador.
4. Clique no botão **OK**.
5. Na caixa de entrada **Nome**, digite **Bacia\_Rio\_Alegre**.
6. Na caixa de diálogo **Banco de Dados**, no dropdown da opção **Gerenciador**, selecione o tipo de banco de dados **DBase**.
7. Clique no botão **Criar**.
8. Finalmente, clique no botão **Ativar**.



### ❖ **CRIAÇÃO DO PROJETO**

Para definir um projeto no Spring é necessário estabelecer o limite geográfico da área em estudo (retângulo envolvente) e a projeção cartográfica mais adequada aos dados geográficos que serão manipulados na área de trabalho.

Um Projeto contém Planos de Informação (PI) dentro do retângulo envolvente definido e estes herdarão o seu sistema de projeção.

Um projeto corresponde fisicamente a um subdiretório debaixo do diretório do banco de dados ao qual pertence. Os dados (PI's) deste projeto estarão debaixo deste subdiretório.

Siga os passos abaixo para você criar o projeto a ser trabalhado nas atividades práticas deste Capítulo.

1. No menu **Arquivo**, aponte para a opção **Projeto** e, novamente, clique na opção **Projeto**.
2. Na caixa de entrada **Nome** digite **BHR\_Alegre**.

3. Clique no botão **Projeção**.
4. Na caixa de diálogo **Projeção**, em **Sistemas**, escolha **UTM**.
5. Em **Modelos da Terra**, escolha **Datum ->SAD69**.
6. Na caixa de entrada **Zona**, digite **24**.
7. Clique no botão **Executar**.
8. Novamente na caixa de diálogo Projetos, nas caixas de entrada **X1**, **X2**, **Y1** e **Y2**, entre com os seguintes valores:

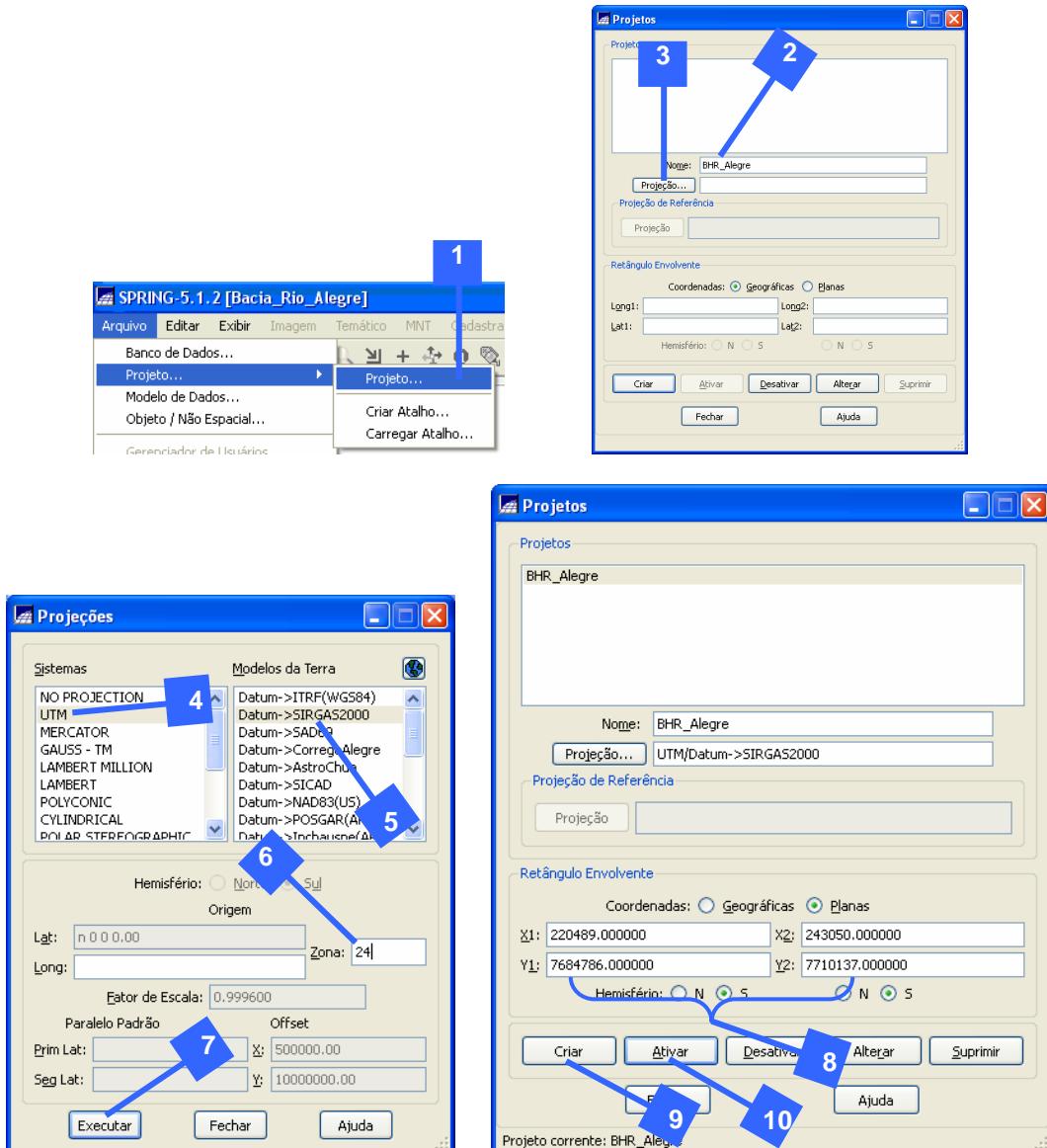
X1: 220489.000000	X2: 243050.000000
Y1: 7684786.000000	Y2: 7710137.000000

Observação: caso você necessite utilizar coordenadas geográficas, a sintaxe deve ser conforme o exemplo a seguir:

Exemplo:

Long1: o 40 41 13.915902	Long2: o 40 28 0.231653
Lat1: s 20 55 9.833018	Lat2: s 20 41 14.311944

9. Clique no botão **Criar**.
10. Clique no botão **Ativar**.



Observe na barra de título do programa que agora aparece intitulado o nome do banco de dados (**[Bacia\_Rio\_Alegre]**) e do projeto (**[BHR\_Alegre]**) como mostrado abaixo.

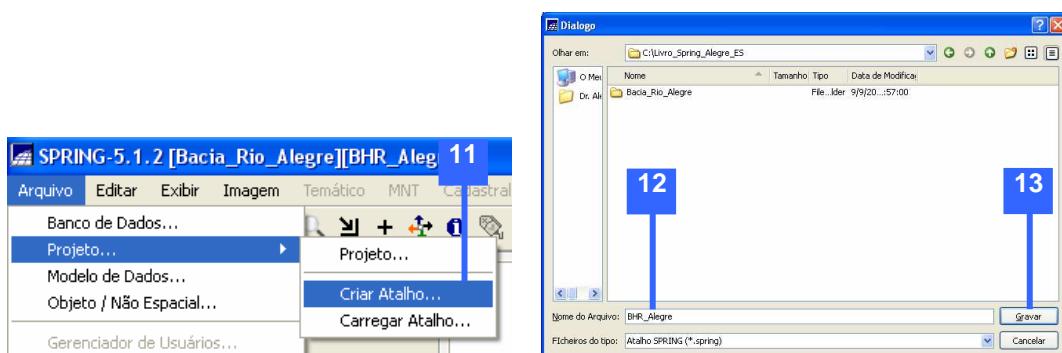


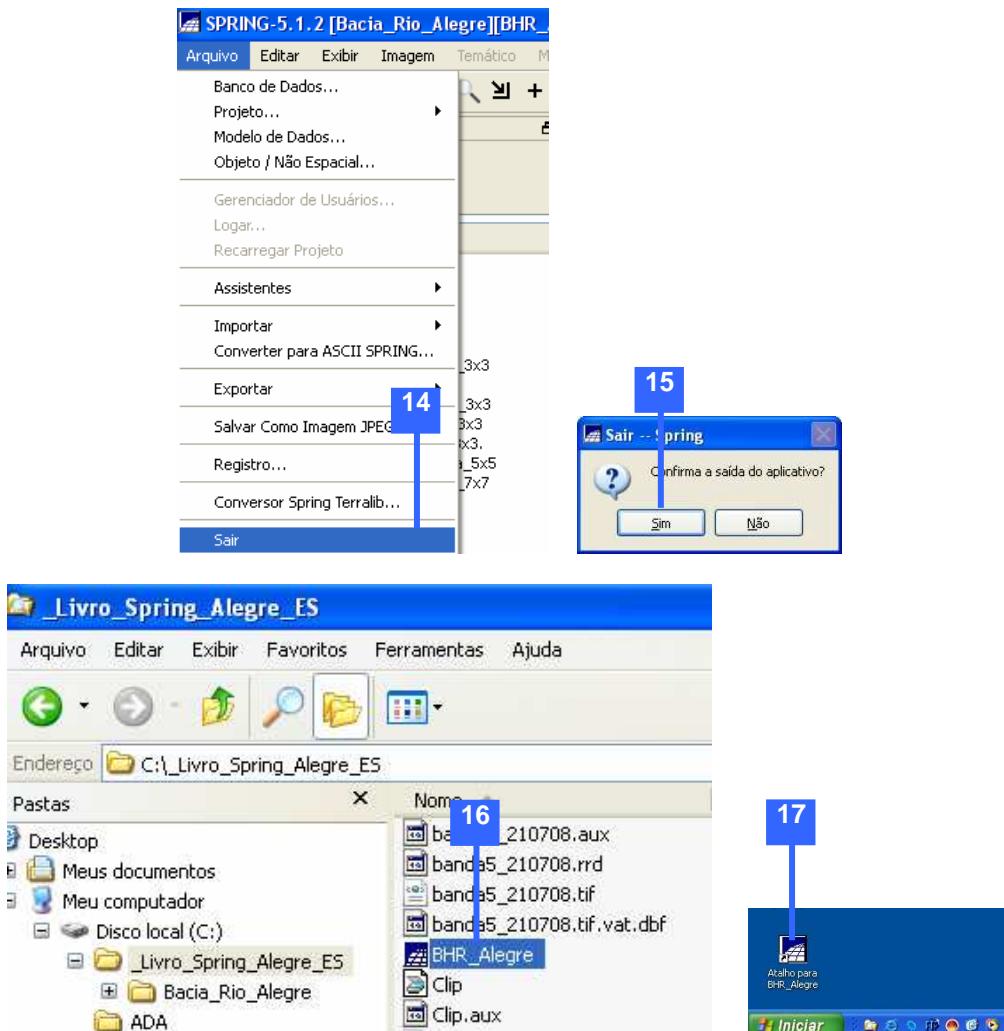
Finalmente, vamos criar um atalho visando possibilitar uma abertura rápida e eficiente de nosso projeto criado, disponibilizando-o na área de trabalho do Windows.

11. No menu **Arquivo**, aponte para a opção **Projeto** e clique na opção **Criar atalho**.
12. Na caixa de entrada da opção **Nome do arquivo**, digite **BHR\_Alegre**.
13. Clique no botão **Gravar**. Clique no botão **OK** da caixa de mensagem “**Atalho gravado com sucesso**”.
14. No menu **Arquivo**, clique na opção **Sair**.
15. Na caixa de mensagem **Sair**, clique no botão **Sim**.
16. No **Windows Explorer**, vá para o diretório **C:\Livro\_Spring\_Alegre\_ES** e clique com o botão direito do mouse sobre o arquivo **BHR\_Alegre.spring** e envie para a área de trabalho do Windows.
17. Na **Área de Trabalho do Windows**, dê um clique duplo sobre a opção **Atalho para BHR\_Alegre**.

Observe que o projeto **BHR\_Alegre.spring** será carregado rapidamente facilitando os novos procedimentos a serem executados.

Também é possível carregar um atalho de projeto, clicando no menu **Arquivo / Projeto / Carregar Atalho**.





### ❖ CRIAÇÃO DO MODELO DE DADOS

Objetivando visualizar os dados espaciais de nosso banco de dados em nosso projeto criado anteriormente, temos que, primeiramente, criar nossos Modelos de Dados especificando as Categorias e Classes (se for temático), além das características de apresentação gráfica (Visual) dos dados e dos atributos descritivos de objetos ou somente tabelas não-espaciais.

A Tabela 1.2 mostra e descreve os modelos de dados disponíveis no Spring.

Tabela 1.2. Modelos de dados disponíveis no Spring (SPRING, 2009).

MODELOS DE DADOS	DESCRICAÇÃO
<b>IMAGEM</b>	Categoria do modelo <u>Imagen</u> refere-se a dados provenientes de sensoriamento remoto em formato matricial. Exemplos: imagens TM/LANDSAT, SPOT, NOAA, fotografias aéreas transformadas em imagens digitais através de "scanners" etc.
<b>NUMÉRICO</b>	Categoria do modelo <u>Numérico</u> refere-se a dados que possuem uma variação contínua de seus valores numéricos em função de sua posição na superfície. Exemplos: altimetria, pH do solo, magnetometria, temperatura de superfície etc.
<b>TEMÁTICO</b>	Categoria do modelo <u>Temático</u> refere-se a dados que classificam uma posição geográfica quanto a um determinado tema. Ex: tipos de solo, classificação de vegetação etc.
<b>CLASSE</b>	Para as categorias de dados do modelo temático é necessário definir as <u>Classes Temáticas</u> , as quais são especializações da categoria. Tomando-se como exemplo uma categoria "tipos de solo", cada um dos diferentes tipos de solos constituirão as classes. Por exemplo, latossolo roxo, podzólico e litossolo.
<b>OBJETO</b>	Categoria de dados do modelo <u>Objeto</u> refere-se à especialização de um tipo de objeto geográfico. Exemplo: municípios, logradouros, propriedades etc.

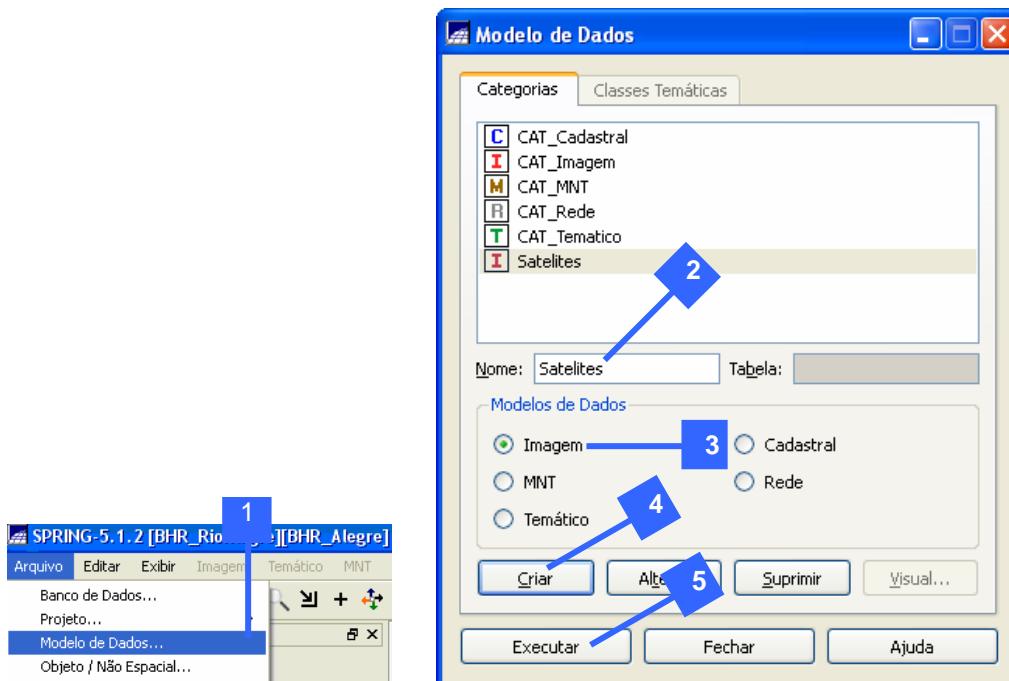
<b>CADASTRAL</b>	Categoria do modelo <u>Cadastral</u> refere-se aos mapas que contêm a representação de determinado tipo de objeto, por exemplo: Divisão política é a categoria cadastral que conterá o mapa com as representações dos municípios.
<b>REDE</b>	Categoria do modelo <u>Rede</u> refere-se aos dados geográficos que possuem relações de fluxo e conexão entre os inúmeros elementos que se deseja representar e monitorar. Ex: rede de energia elétrica, esgoto, água, drenagem, telefonia etc.
<b>NÃO-ESPACIAL</b>	Categoria do modelo <u>Não-Espacial</u> refere-se aos dados que não possuem representação espacial como, por exemplo, os dados de cadastros rurais e urbanos.

As características de apresentação gráfica dos dados também são definidas e armazenadas junto ao modelo de dados do banco. O termo **Visual** é utilizado no Spring para designar as características de áreas, linhas, pontos e textos de uma categoria/classe no Banco de dados.

Na modelagem do Banco de Dados, são definidas Tabelas para inserir, armazenar e recuperar os atributos descritivos dos dados. Para cada Categoría, existe uma Tabela de Atributos única, onde são definidos seus campos de acordo com os atributos fornecidos pelo usuário. Os recursos de edição e análise dos atributos estão disponíveis somente para categoria do Modelo de Dados, Objeto e Não-Espacial.

Agora, vamos iniciar a criação do modelo de dados intitulado **Satélites** a ser utilizado em nosso projeto.

1. No menu **Arquivo**, aponte para a opção **Modelo de Dados**.
2. Na caixa de diálogo **Modelo de dados**, na guia **Categorias**, selecione a opção **Imagens**.
3. Na caixa de entrada **Nome**, digite **Satélites**.
4. Clique no botão **Criar**.
5. Clique no botão **Executar**.



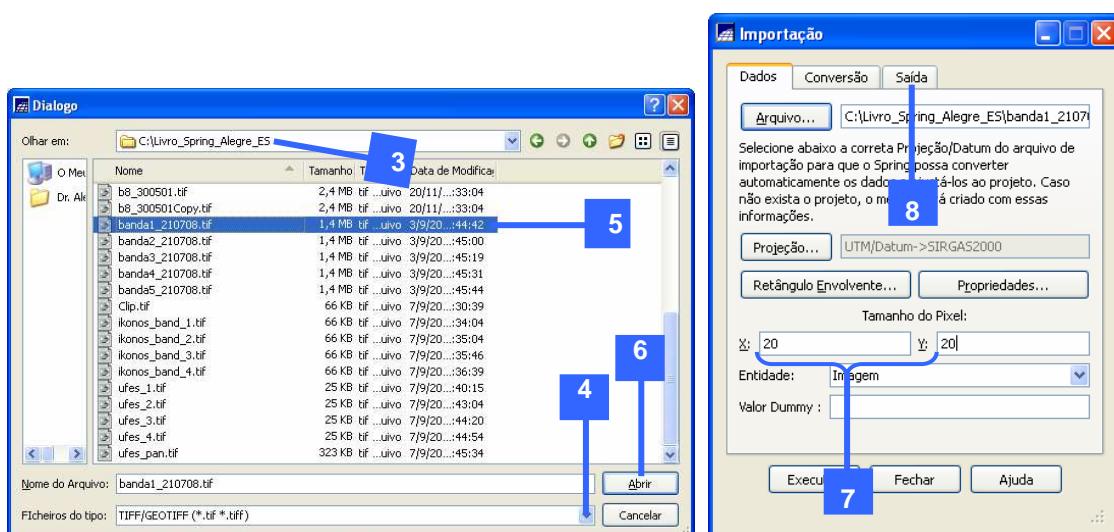
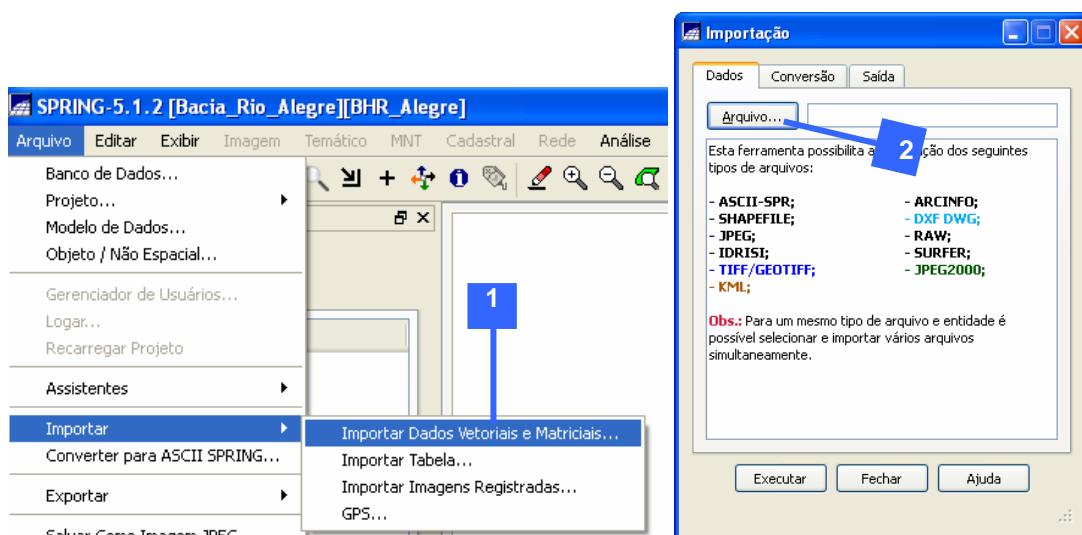
#### ❖ IMPORTAÇÃO DE IMAGENS PARA O PROJETO

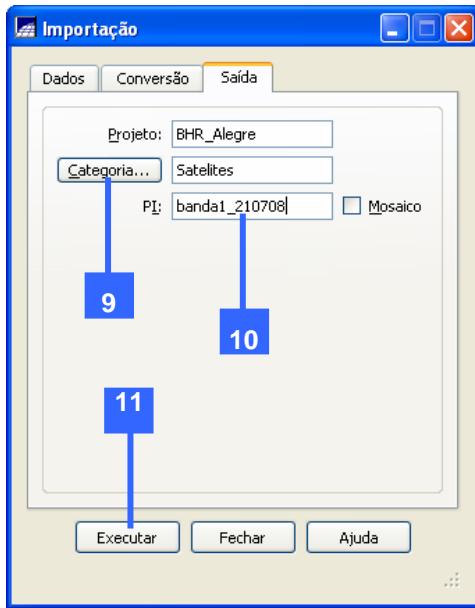
1. No menu **Arquivo**, aponte para a opção **Importar** e, posteriormente, para a opção **Importar Dados Vetoriais e Matriciais**.
2. Na caixa de diálogo **Importação**, clique no botão **Arquivo**.
3. Na caixa de diálogo, vá para o diretório **C:\Livro\_Spring\_Alegre\_ES**.
4. No dropdown **Ficheiros do tipo**, selecione **TIFF/GEOTIFF (\*.tif\* .tiff)**.

5. Selecione a imagem **banda1\_210708.tif** (banda 1, azul, do satélite CBERS).
6. Clique no botão **Abrir**.
7. Digite os valores de **20** (resolução espacial das imagens do satélite CBERS - câmera CCD) para as caixas de entrada **X** e **Y** (**Tamanho do Pixel**).
8. Clique na guia **Saída**.
9. No botão **Categoria**, selecione **Satélites**.
10. Na caixa de entrada **PI** (Plano de Informação) digite o mesmo nome da imagem, ou seja, **banda1\_210708**.
11. Finalmente, clique no botão **Executar**.

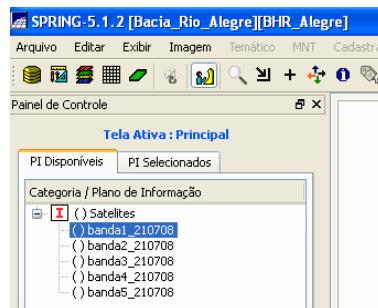
Repeta os passos anteriores para importar as seguintes imagens:

banda2_210708.tif	Verde
banda3_210708.tif	Vermelho
banda4_210708.tif	Infravermelho próximo
banda5_210708.tif	Pancromática





Abaixo são demonstradas as imagens do satélite CBERS adicionadas no projeto **BHR\_Alegre**.



#### ❖ VISUALIZAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE CBERS DA ÁREA DE ESTUDO

Nesta etapa, você irá aprender a visualizar as imagens das bandas espectrais do satélite CBERS em tons de cinza isoladamente e por meio de composição normal e falsa cor.

Como temos 05 imagens, vamos visualizar essas imagens nas seguintes **telas** do Spring:

banda1_210708	0,45 - 0,52 (20 m)	Azul	Tela 2
banda2_210708	0,52 - 0,59 (20 m)	Verde	Tela 3
banda3_210708	0,63 - 0,69 (20 m)	Vermelho	Tela 4
banda4_210708	0,77 - 0,89 (20 m)	Infravermelho próximo	Tela 5
banda5_210708	0,51 - 0,73 (20 m)	Pancromática	Tela 6

Logo, você terá que adicionar 02 novas telas no Spring.

1. Na parte inferior da área de visualização do Spring, clique 02 vezes sobre a ferramenta **Adicionar página** . Observe que serão adicionadas 02 novas telas no Spring (**Tela 5** e **6**).

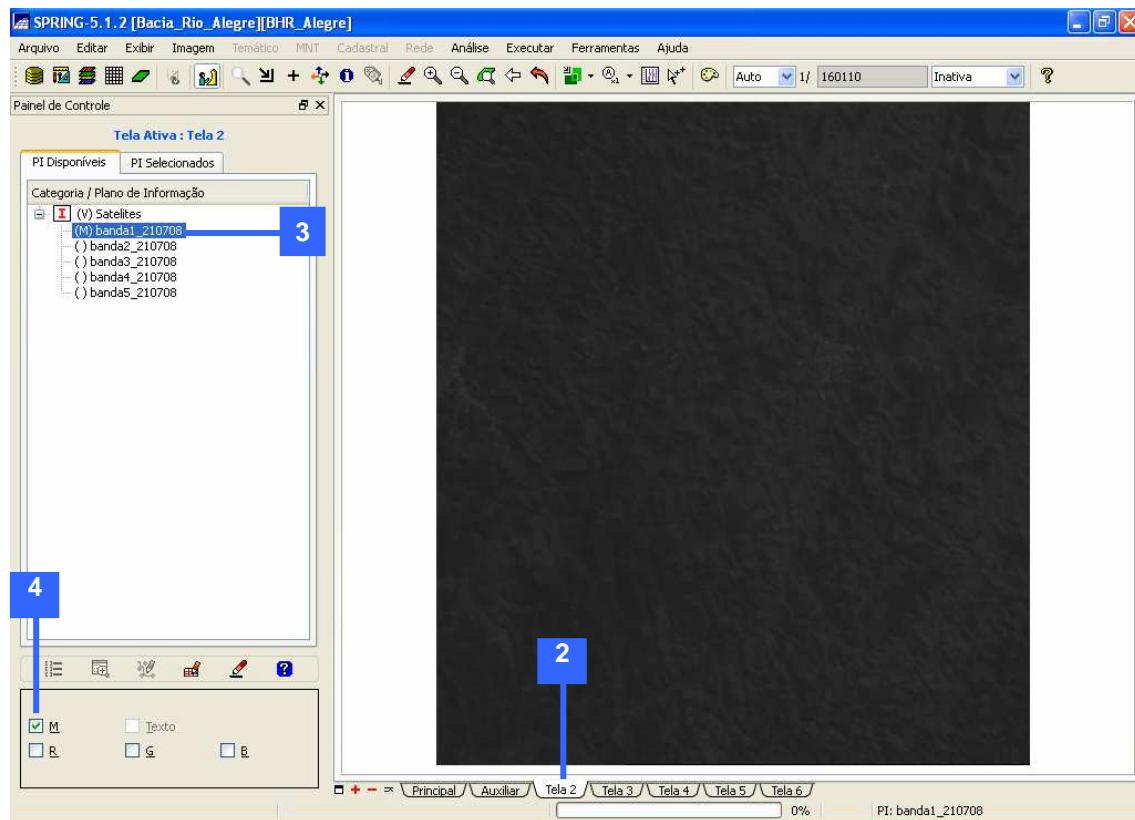


Agora, você está pronto para iniciar a visualização da imagem **banda1\_210708** em tons de cinza.

2. Na parte inferior do Spring, clique na guia **Tela 2**.
3. No **Painel de Controle**, selecione a imagem intitulada **banda1\_210708**.
4. Na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **M** (níveis de cinza).

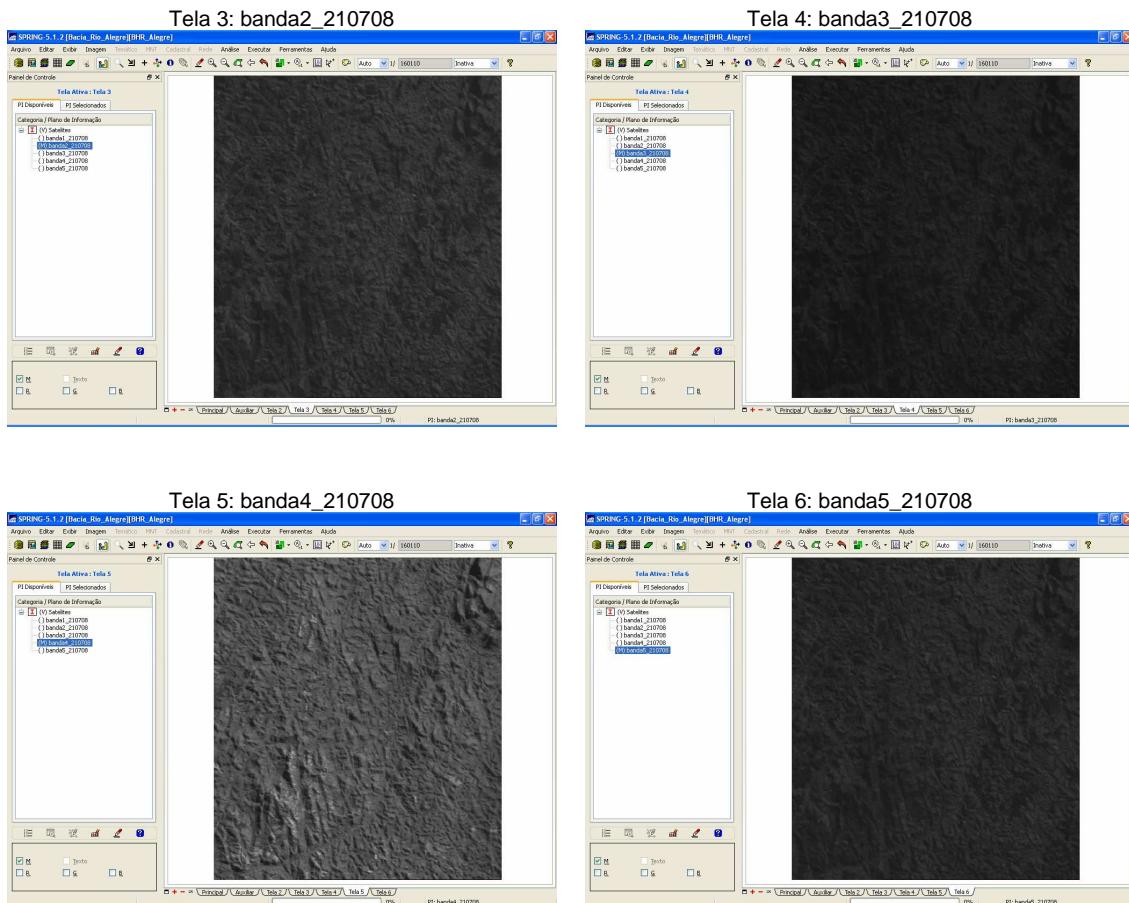
Repita os passos anteriores para visualizar as imagens:

banda2_210708	0,52 - 0,59 (20 m)	Verde	<b>Tela 3</b>	<b>Níveis de cinza (M)</b>
banda3_210708	0,63 - 0,69 (20 m)	Vermelho	<b>Tela 4</b>	
banda4_210708	0,77 - 0,89 (20 m)	Infravermelho próximo	<b>Tela 5</b>	
banda5_210708	0,51 - 0,73 (20 m)	Pancromática	<b>Tela 6</b>	



## Capítulo 1 – Visualizando Imagens de Satélites e Aerofotos Digitais

Veja os resultados abaixo:

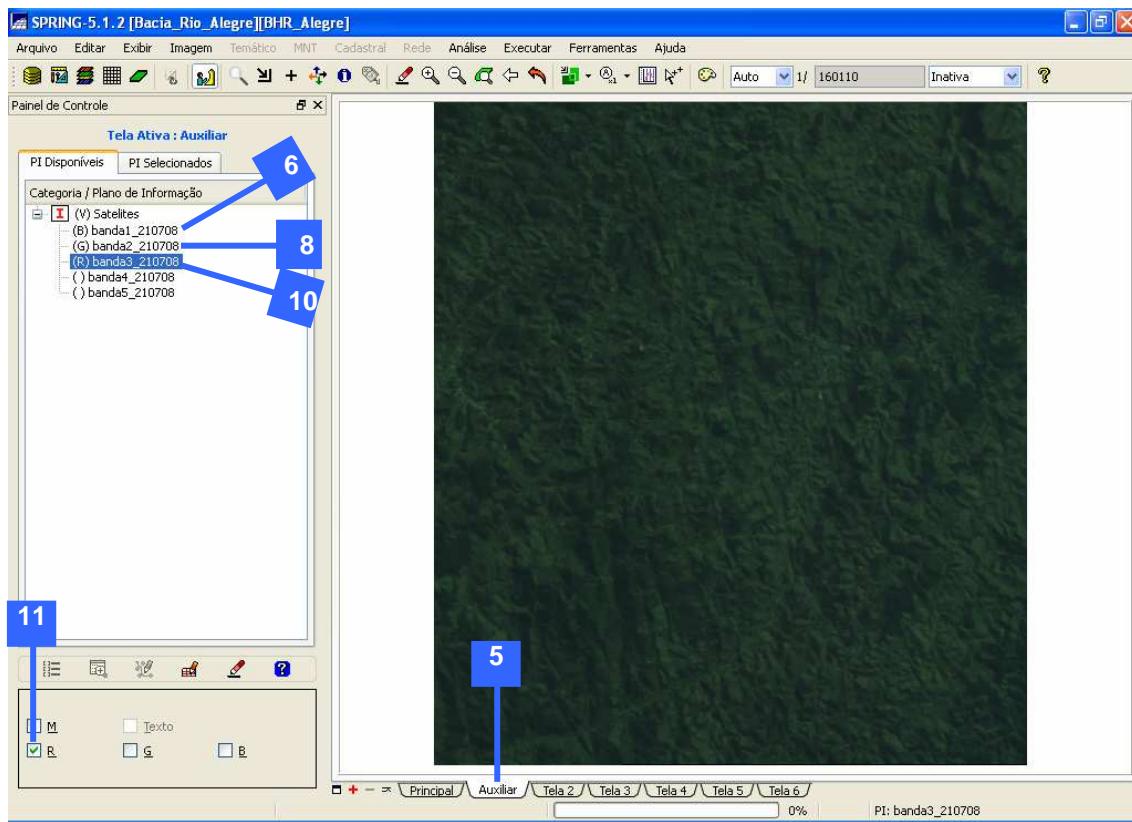


Nesta próxima etapa, você irá elaborar uma composição normal e uma falsa-cor utilizando as imagens do satélite CBERS.

Inicialmente, você irá elaborar uma composição normal utilizando a seguinte combinação entre bandas:

COMPOSIÇÃO NORMAL			
Banda1_210708	0,45 - 0,52 (20 m)	azul	<b>B</b>
banda2_210708	0,52 - 0,59 (20 m)	Verde	<b>G</b>
banda3_210708	0,63 - 0,69 (20 m)	Vermelho	<b>R</b>

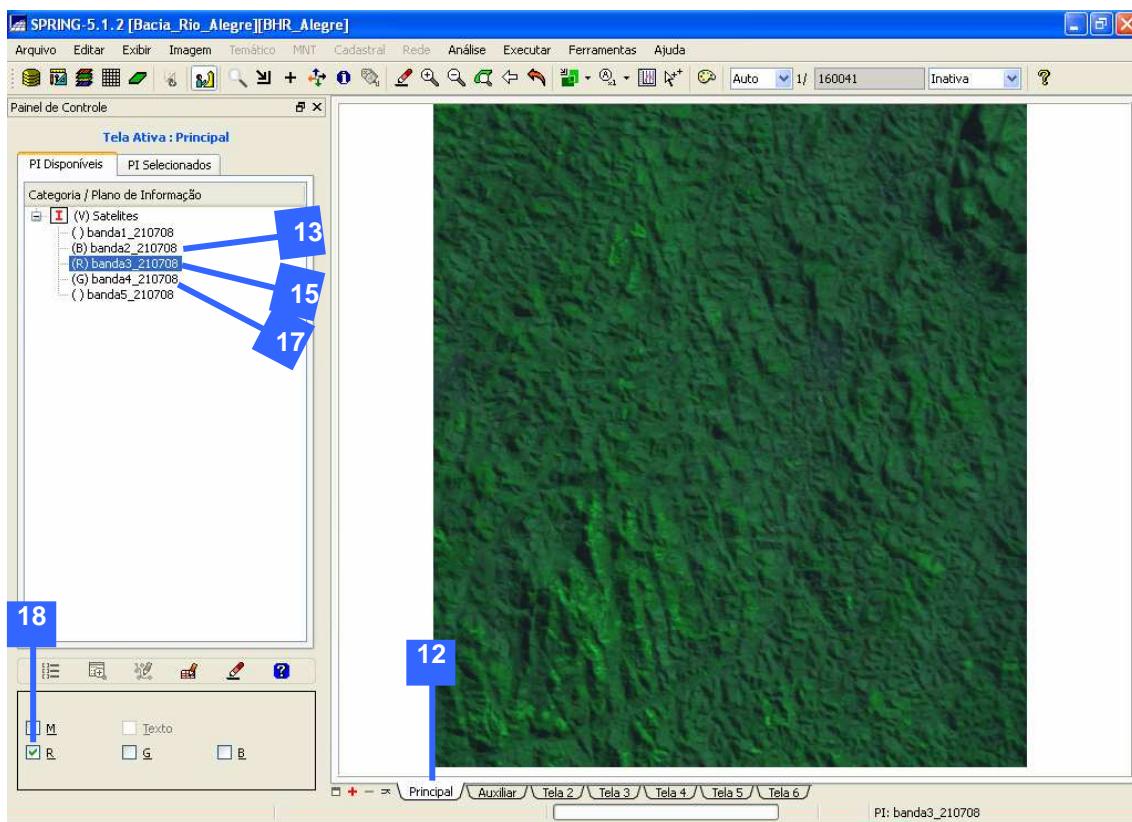
5. Na parte inferior do Spring, clique na guia **Auxiliar**.
6. No **Painel de Controle**, selecione a imagem intitulada **banda1\_210708**.
7. Na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **B** (azul).
8. Selecione a imagem intitulada **banda2\_210708**.
9. Na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **G** (verde).
10. Selecione a imagem intitulada **banda3\_210708**.
11. Na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **R** (vermelho).



Agora, você irá elaborar uma composição falsa cor utilizando a combinação entre bandas mostrada abaixo. Neste tipo de composição, fica clara e evidente a diferenciação entre os recursos naturais, priorizando a identificação da vegetação e corpos d'água.

COMPOSIÇÃO FALSA-COR			
banda2_210708	0,45 - 0,52 (20 m)	Azul	<b>B</b>
Banda4_210708	0,77 - 0,89 (20 m)	Infravermelho próximo	<b>G</b>
banda3_210708	0,63 - 0,69 (20 m)	Vermelho	<b>R</b>

12. Na parte inferior do Spring, clique na guia **Principal**.
13. No **Painel de Controle**, selecione a imagem intitulada **banda2\_210708**.
14. Na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **B** (azul).
15. Selecione a imagem intitulada **banda4\_210708**.
16. Na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **G** (verde).
17. Selecione a imagem intitulada **banda3\_210708**.
18. Na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **R** (vermelho).



### ❖ UTILIZANDO FERRAMENTAS DE VISUALIZAÇÃO

#### Cursor de Área

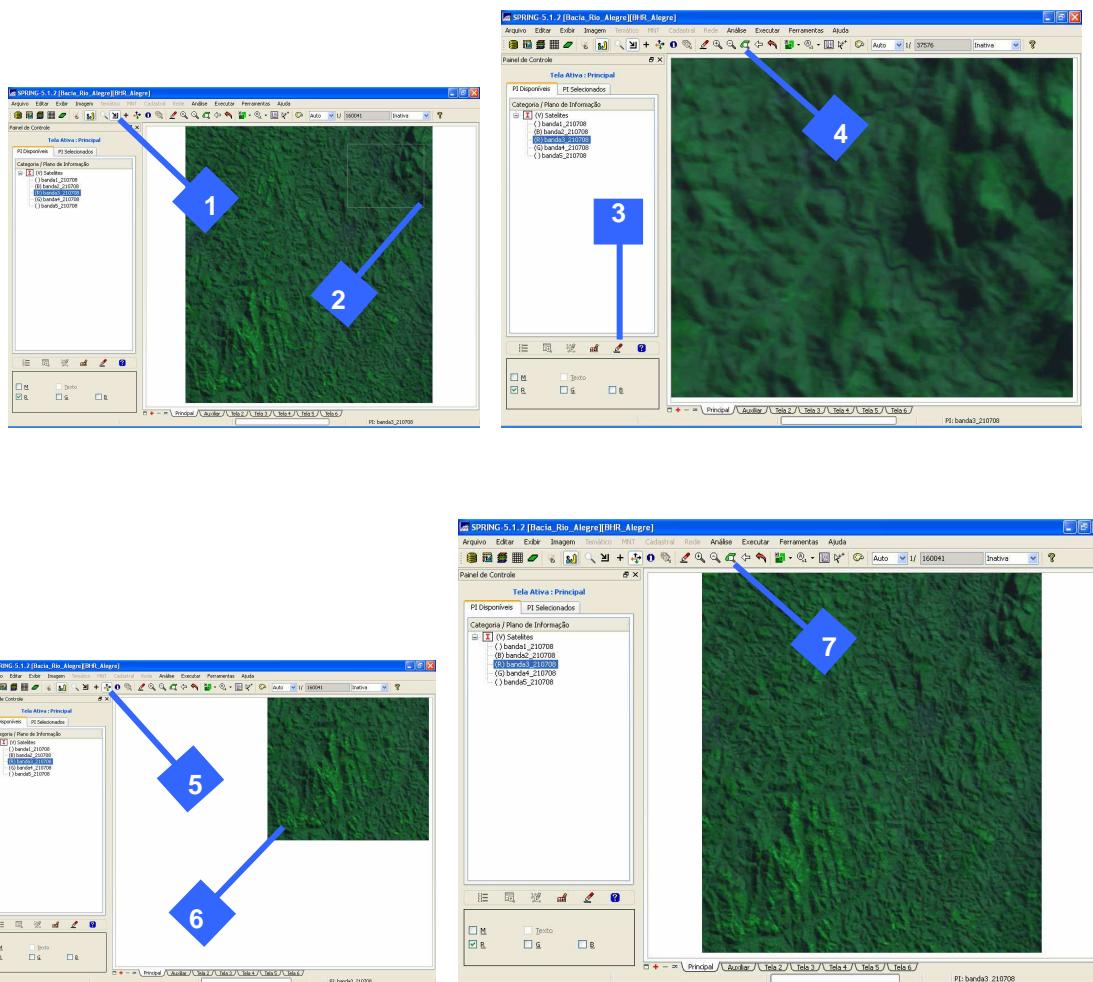
O Cursor de Área (zoom) é utilizado para definir regiões a serem ampliadas na área de desenho.

1. Clique no menu **Exibir / Cursor de Área** ou na ferramenta **Cursor de Área**
2. Dê um clique inicial e arraste uma caixa sobre a área a ser ampliada, dando novamente um clique para finalizar a caixa.
3. Clique na ferramenta **Desenhar**
4. Para visualizar, novamente, toda a imagem, clique na ferramenta **Zoom PI**

#### Cursor de Voo

O Cursor de Voo é utilizado para funções do Spring em que se necessita realizar a movimentação da imagem dentro da tela de visualização.

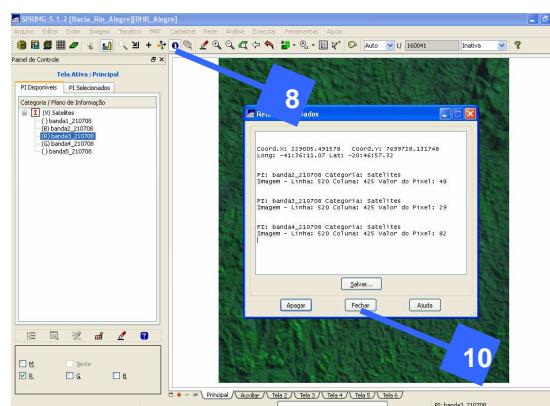
5. Clique no menu **Exibir / Cursor de Voo** ou na ferramenta **Cursor de Voo**
6. Mantenha pressionado o botão esquerdo do mouse e arraste a imagem na tela de visualização.
7. Para visualizar, novamente, toda a imagem, clique na ferramenta **Zoom PI**



## Cursor de Informação

O Cursor de Informação é utilizado para funções do Spring em que se necessita realizar a obtenção de informações sobre a imagem dentro da tela de visualização.

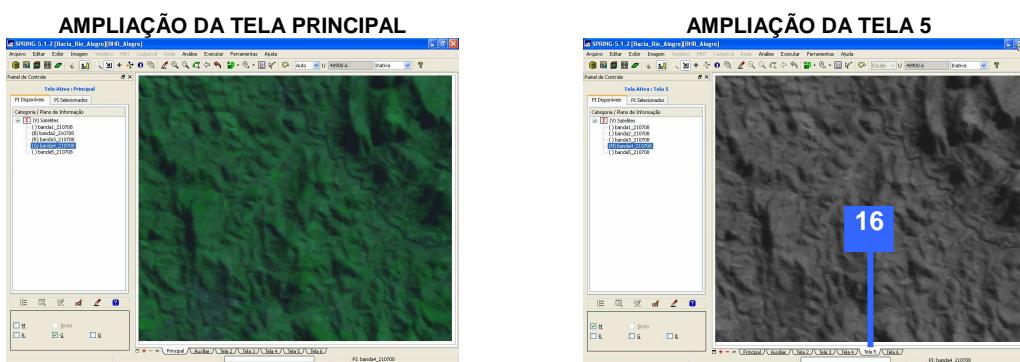
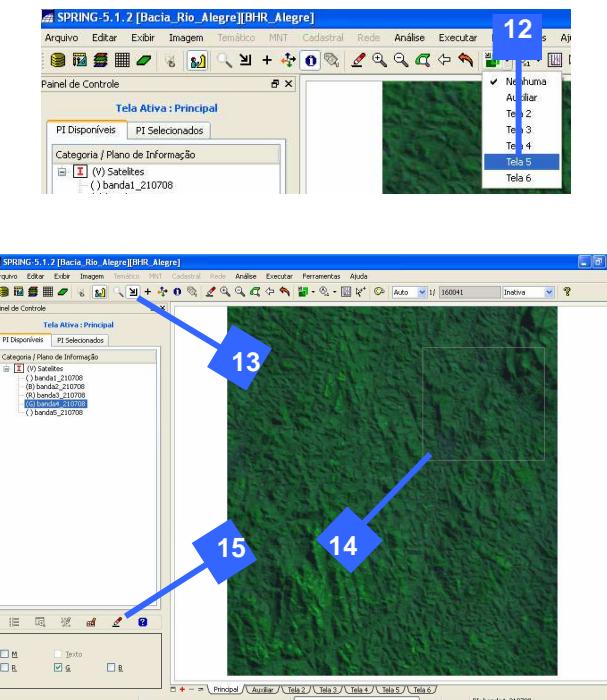
8. Clique no menu **Exibir / Cursor de Informação** ou na ferramenta **Cursor de Informação**
9. Clique sobre qualquer ponto sobre a imagem para obter as informações a respeito da mesma.
10. Na caixa de diálogo **Relatório de Dados**, clique no botão **Fechar**.



### Acoplar uma tela a outra

A ferramenta de acoplar tela possibilita comparar os dados de outros PI's com o que estiver ativo e visível na janela principal do Spring.

11. No controle de telas, ative a tela **Principal**.
12. Clique na ferramenta **Acoplar** e selecione a **Tela 5**.
13. Clique no menu **Exibir / Cursor de Área** ou na ferramenta **Cursor de Área** .
14. Dê um clique inicial e arraste uma caixa sobre a área a ser ampliada, dando novamente um clique para finalizar a caixa.
15. Clique na ferramenta **Desenhar** .
16. No controle de telas, observe que a mesma ampliação representada na tela **Principal** é demonstrada na **Tela 5**.



### Zoom In e Zoom Out

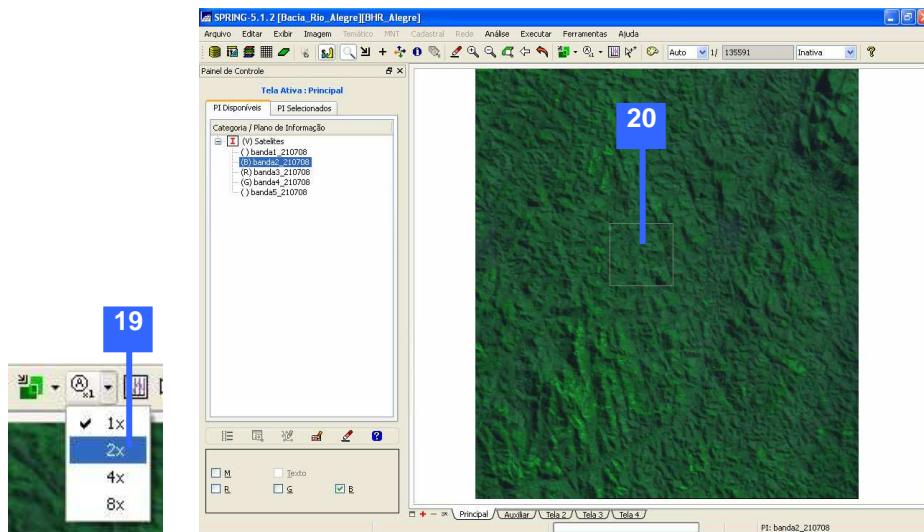
As ferramentas Zoom In ampliam 2 vezes o centro da tela de desenho. Já ferramentas Zoom Out reduzem 2 vezes o centro da tela de desenho.

17. Com a tela **Principal** ativa, clique na ferramenta **Zoom In** e veja o resultado.
18. Com a tela **Principal** ativa, clique na ferramenta **Zoom Out** e veja o resultado.

### Ampliar

A ferramenta Ampliar possibilita aumentar a visualização de uma área em 2, 4 e 8 vezes numa janela que fica flutuando sobre a tela ativa.

19. Com a tela **Principal** ativa, clique na ferramenta **Ampliar**  e selecione **2x** (ampliação de 2 vezes).
20. Arraste o cursor sobre tela **Principal** e veja o resultado da ampliação na tela de ampliação **Zoom**.



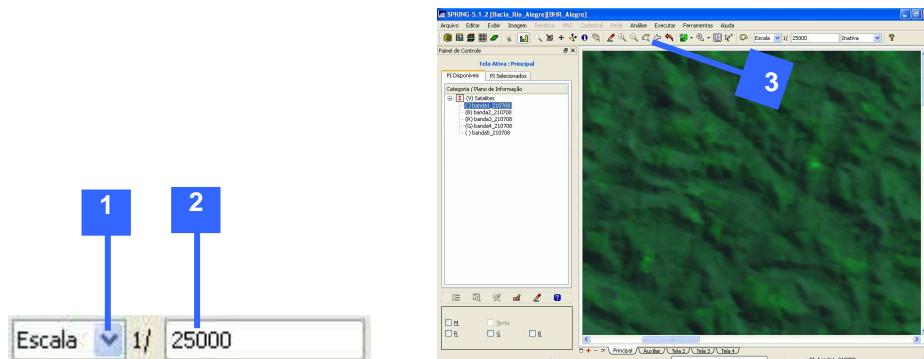
### ❖ OUTRAS FERRAMENTAS

Nesta etapa, você irá aprender a alterar a escala da imagem da tela principal e alterar seu sistema de coordenadas.

Inicialmente, você irá mostrar a imagem com mais detalhes, alterando a escala para 1:25.000. Posteriormente, a imagem já com a escala alterada será visualizada com coordenadas planas e geográficas.

1. No dropdown da ferramenta **Amostragem** escolha a opção **Escala**.
2. Na caixa de entra **Escala**, entre com o valor **25000**.
3. Para visualizar a imagem com a nova escala, clique na ferramenta **Zoom PI** .

Abaixo, é demonstrada a imagem falsa-cor da tela principal na escala 1:25.000.



4. No dropdown da ferramenta **Coordenadas**, escolha a opção **Planas**.

Veja o resultado das novas coordenadas na parte inferior do Spring.



Repita o passo anterior para alterar as coordenadas para Geográficas.

#### ❖ **VISUALIZANDO IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT E IKONOS**

Utilizando os conhecimentos adquiridos nos passos anteriores, você irá importar imagens com extensão .tif dos satélites LANDSAT e IKONOS mostradas na Tabela 1.3.

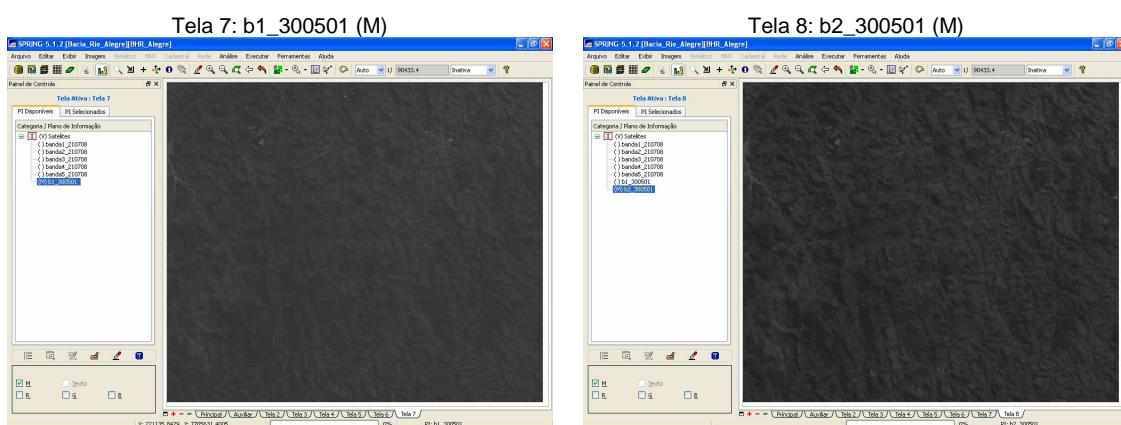
Tabela 1.3. Imagens dos satélites LANDSAT e IKONOS representativas da área estudo.

SATÉLITE LANDSAT 7 (QUADRANTE REPRESENTATIVO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALEGRE, ES)			
BANDAS ESPECTRAIS SENSOR ETM+		INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA ( $\mu m$ )	FAIXA ESPECTRAL
30/05/2001	TELAS DO SPRING		
b1_300501 (M)	Tela 7	0.45 - 0.52 (30 m)	Azul
b2_300501 (M)	Tela 8	0.53 - 0.61 (30 m)	Verde
b3_300501 (M)	Tela 9	0.63 - 0.69 (30 m)	Vermelho
b4_300501 (M)	Tela 10	0.78 - 0.90 (30 m)	Infrav. próximo (IP)
b6_300501 (M)	Tela 11	10.4 - 12.5 (60 m)	Infrav. termal
b8_300501 (M)	Tela 12	0.52 - 0.90 (15 m)	Pancromática
bandas azul (B) + verde (G) + vermelho (R)	Tela 13	Composição colorida normal	
bandas verde (B) + verm. (R) + Infrav. próx. (G)	Tela 14	Composição colorida falsa cor	

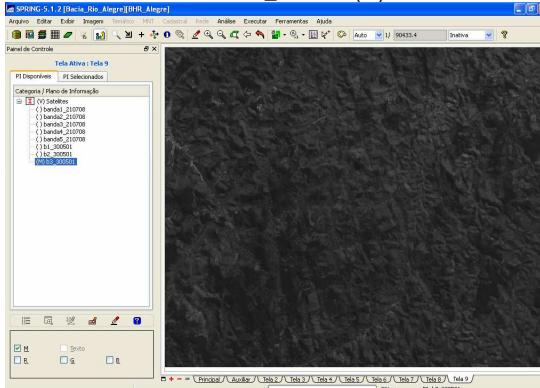
SATÉLITE IKONOS (QUADRANTE REPRESENTATIVO DA CIDADE DE ALEGRE E PROXIMIDADES, ES)			
BANDAS ESPECTRAIS		INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA ( $\mu m$ )	FAIXA ESPECTRAL
01/12/2002	TELAS DO SPRING		
Ikonos_band_1 (M)	Tela 15	0.45 - 0.52 (4 m)	Azul
Ikonos_band_2 (M)	Tela 16	0.52 - 0.60 (4 m)	Verde
Ikonos_band_3 (M)	Tela 17	0.63 - 0.69 (4 m)	Vermelho
Ikonos_band_4 (M)	Tela 18	0.76 - 0.90 (4 m)	Infrav. próximo
bandas azul (B) + verde (G) + vermelho (R)	Tela 19	Composição colorida normal	
bandas verde (B) + verm. (R) + Infrav. próx. (G)	Tela 20	Composição colorida falsa cor	

Abaixo, são demonstradas as imagens dos satélites LANDSAT e IKONOS importadas e visualizadas, em suas respectivas telas, com ampliação realizada sobre a cidade de Alegre, ES e proximidades.

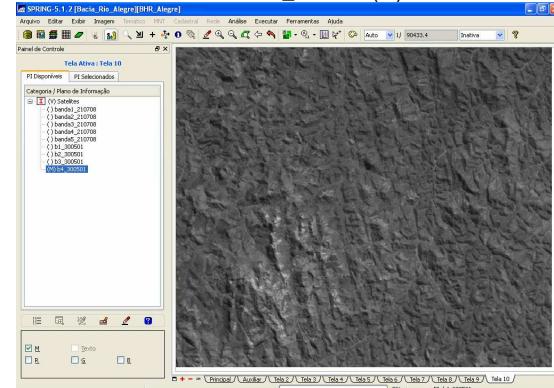


# Capítulo 1 – Visualizando Imagens de Satélites e Aerofotos Digitais

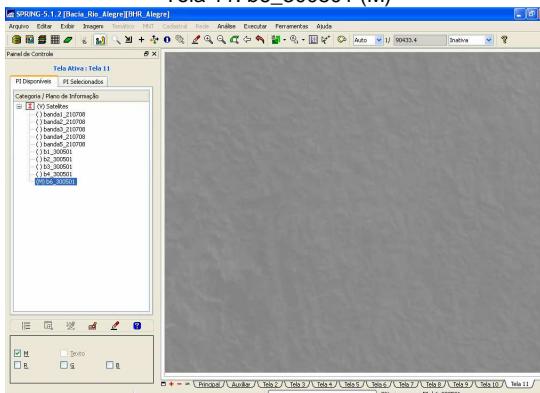
Tela 9: b3\_300501 (M)



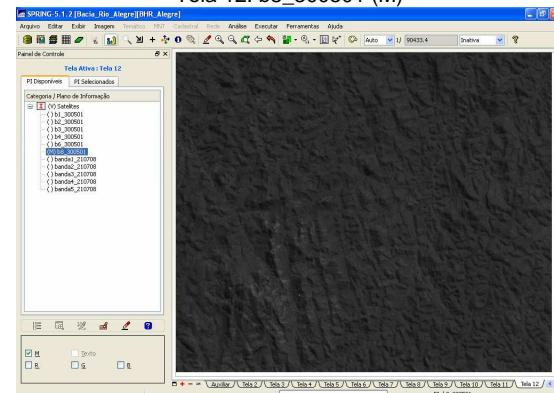
Tela 10: b4\_300501 (M)



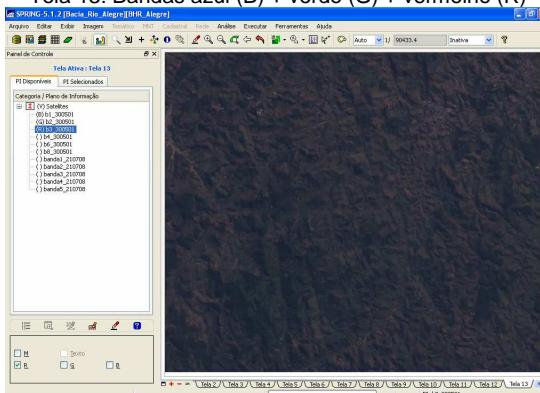
Tela 11: b6\_300501 (M)



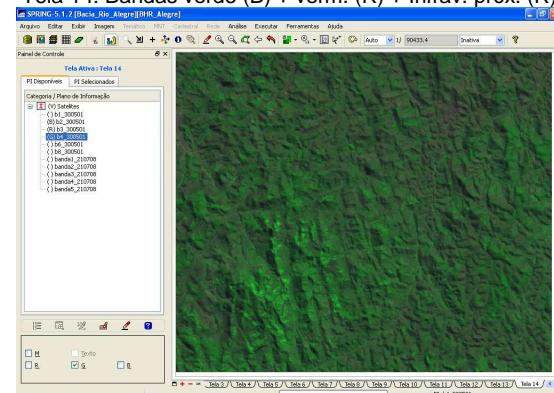
Tela 12: b8\_300501 (M)



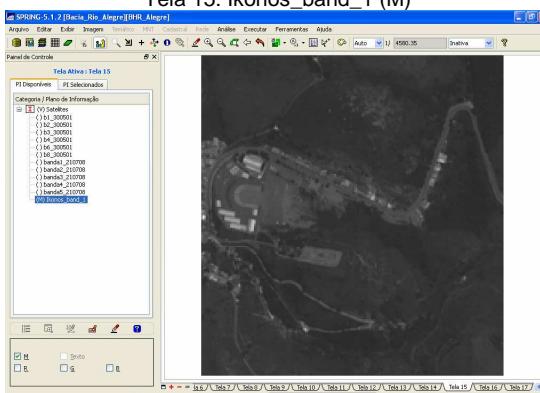
Tela 13: Bandas azul (B) + verde (G) + vermelho (R)



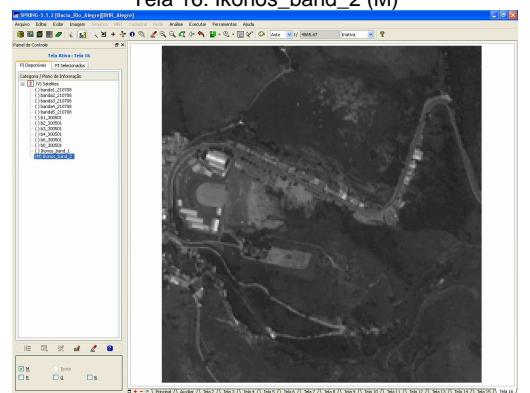
Tela 14: Bandas verde (B) + verm. (R) + Infrav. próx. (R)



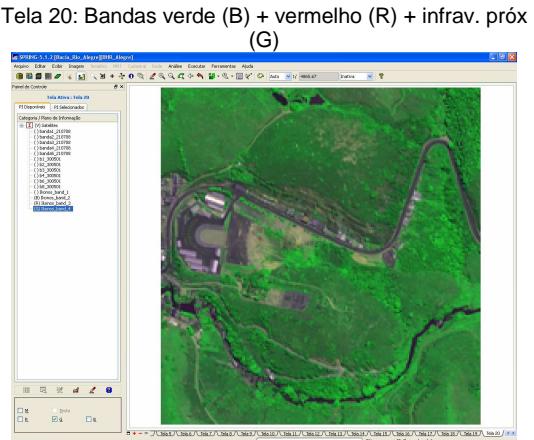
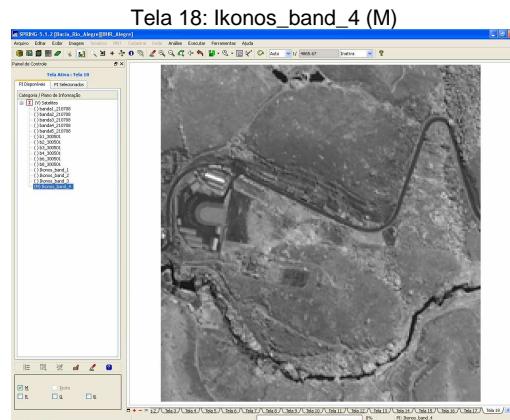
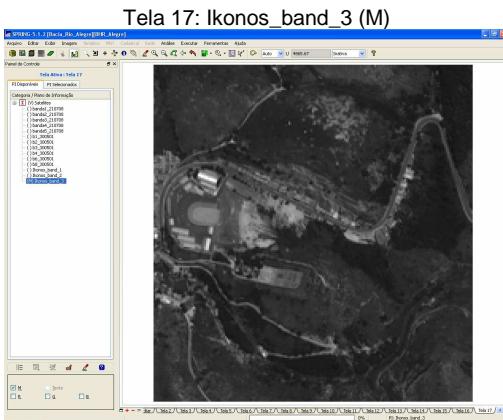
Tela 15: Ikonos\_band\_1 (M)



Tela 16: Ikonos\_band\_2 (M)



## Capítulo 1 – Visualizando Imagens de Satélites e Aerofotos Digitais



A Figura 1.4 mostra alguns locais importantes da cidade de Alegre, ES sobre a imagem IKONOS em composição normal e em composição falsa-cor.

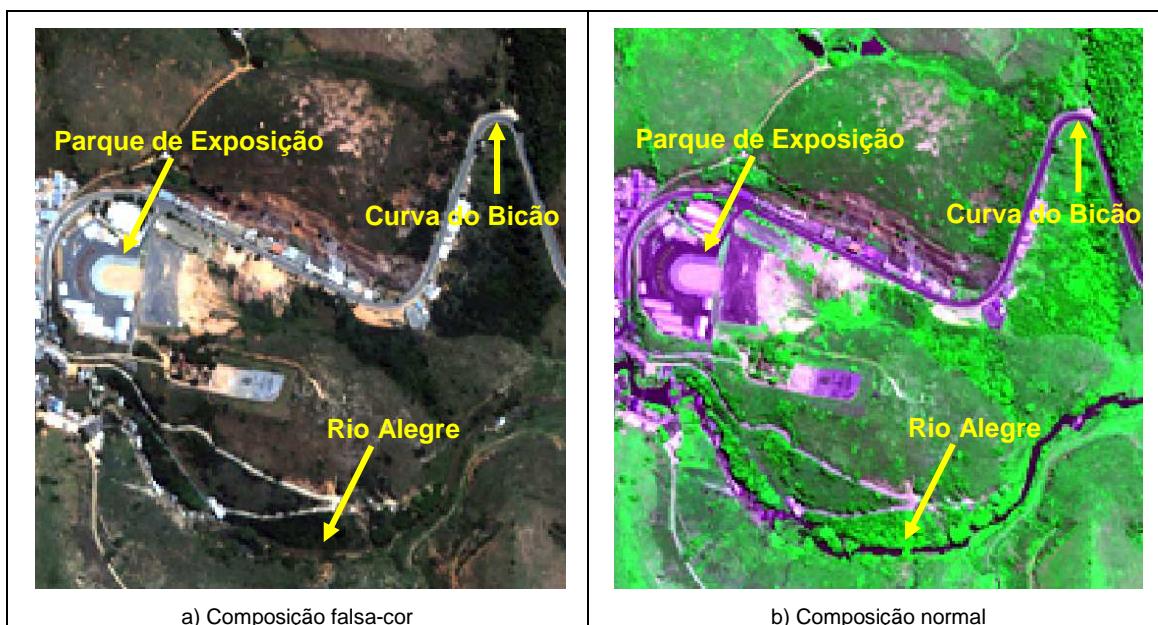


Figura 1.4. Locais importantes da cidade de Alegre, ES sobre a imagem IKONOS.

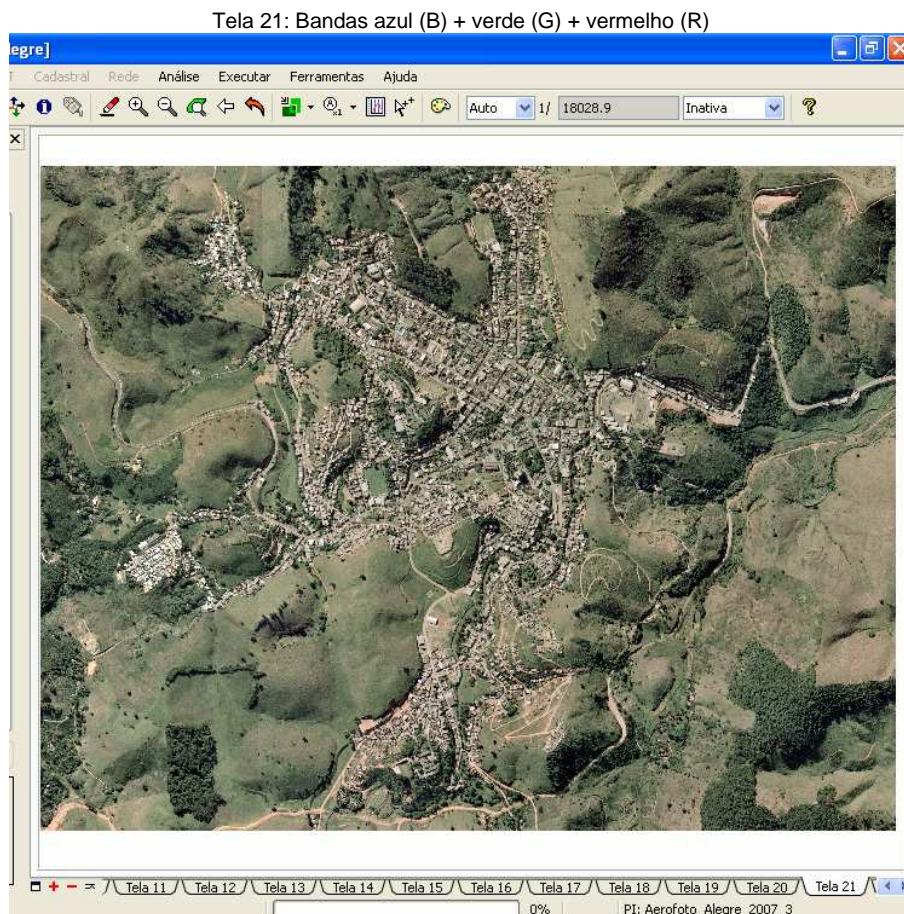
## **1.5 – VISUALIZANDO AEROFOTOS DIGITAIS DA CIDADE DE ALEGRE, ES**

Neste tópico, você deverá utilizar os conhecimentos adquiridos nos passos anteriores para importar aerofotos digitais (extensão.tif) da cidade de Alegre oriunda do ano de 2007 na escala 1:35.000, com resolução espacial de 1 m. A Tabela 1.4 mostra as características das aerofotos digitais importadas que você deve tomar como exemplo visando visualizar uma composição normal.

Tabela 1.4. Composição colorida normal das aerofotos digitais representativas da área estudo.

AEROFOTOS DIGITAIS DO ANO DE 2007 (QUADRANTE REPRESENTATIVO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALEGRE, ES)		
AEROFOTOS IMPORTADAS	Aerofoto_Alegre_2007.tif	
NOME	TELAS DO SPRING	FAIXA ESPECTRAL
Aerofoto_Alegre_2007_1 (R)	Tela 21	Vermelho
Aerofoto_Alegre_2007_2 (G)		Verde
Aerofoto_Alegre_2007_3 (B)		Azul

Abaixo, é demonstrada a composição normal oriunda da combinação das aerofotos digitais importadas com ampliação realizada sobre a cidade de Alegre, ES e proximidades.



As Figuras 1.5, 1.6 e 1.7 mostram algumas ampliações da aerofoto digital em composição normal sobre a cidade de Alegre, ES.

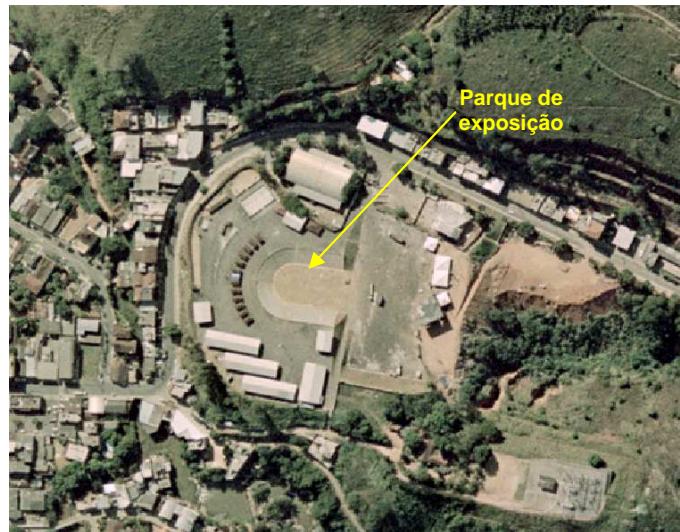


Figura 1.5. Parque de exposição da cidade de Alegre.

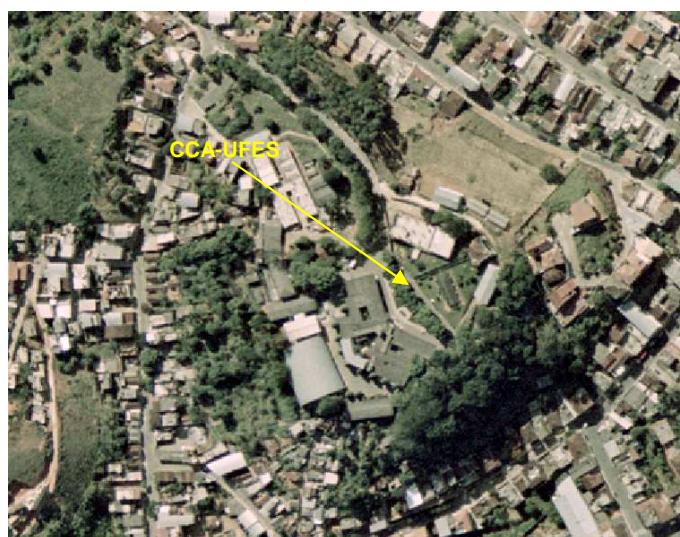


Figura 1.6. Centro de Ciências Agrárias da UFES – CCA-UFES.

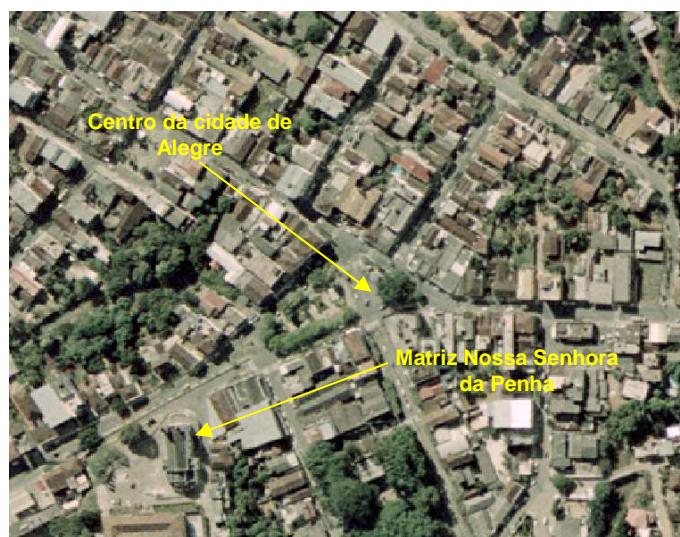


Figura 1.7. Região central da cidade de Alegre.

Após executar todos os passos demonstrados anteriormente, você já está apto a resolver os exercícios propostos abaixo, visando reforçar as atividades deste capítulo.

### **EXERCÍCIOS**

#### Exercícios teóricos

1. Quais as aplicações do programa Spring 5.1.2 na área de GEOTECNOLOGIA?
2. Quais as novidades da nova versão do Spring (versão 5.1.2) em relação à última versão?
3. Observe a barra de título do Spring mostrada na figura abaixo e explique a importância da hierarquia BANCO DE DADOS / PROJETO / MODELO DE DADOS.



4. Cite e explique, resumidamente, a finalidade de cada tipo de modelo de dados suportado pelo Spring 5.1.2.
5. Defina o que é uma escala e explique a sua utilização prática no sensoriamento remoto.
6. Defina fuso horário. Quantos fusos horários existem no Brasil?

#### Exercícios práticos

1. O diretório de trabalho **C:\ Livro\_Spring\_Alegre\_ES** contém, além de imagens do satélite CBERS, as seguintes imagens do satélite LANDSAT 7:

SATÉLITE LANDSAT 7		
BANDAS ESPECTRAIS SENSOR ETM+	INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA ( $\mu\text{m}$ )	FAIXA ESPECTRAL
<b>05/08/2002</b>		
b1_050802.tif	0.45 - 0.52 (30 m)	Azul
b2_050802.tif	0.53 - 0.61 (30 m)	Verde
b3_050802.tif	0.63 - 0.69 (30 m)	Vermelho
b4_050802.tif	0.78 - 0.90 (30 m)	Infravermelho próximo
b6_050802.tif	10.4 - 12.5 (60 m)	Infravermelho termal
b8_050802.tif	0.52 - 0.90 (15 m)	Pancromática

Utilize os conhecimentos adquiridos neste capítulo para importar essas imagens e visualizar uma:

- a) COMPOSIÇÃO COLORIDA NORMAL (tela auxiliar).
- b) COMPOSIÇÃO COLORIDA EM FALSA-COR (tela principal).

Observação: durante a importação, fique atento com a resolução espacial das bandas espectrais do satélite LANDSAT que, dependendo da banda, pode ser de 15, 30 e 60 m.

2. Utilize a home-page do programa CBERS (<http://www.cbers.inpe.br>) para fazer o download gratuito de imagens de satélite CBERS (câmera CCD) para o município de Cachoeiro de Itapemirim (data que lhe interessar, com cobertura de nuvens menor que 10%), localizado ao Sul do Estado do Espírito Santo (Figura 1.8). Após a aquisição das imagens que serão enviadas para seu e-mail, execute as seguintes atividades:

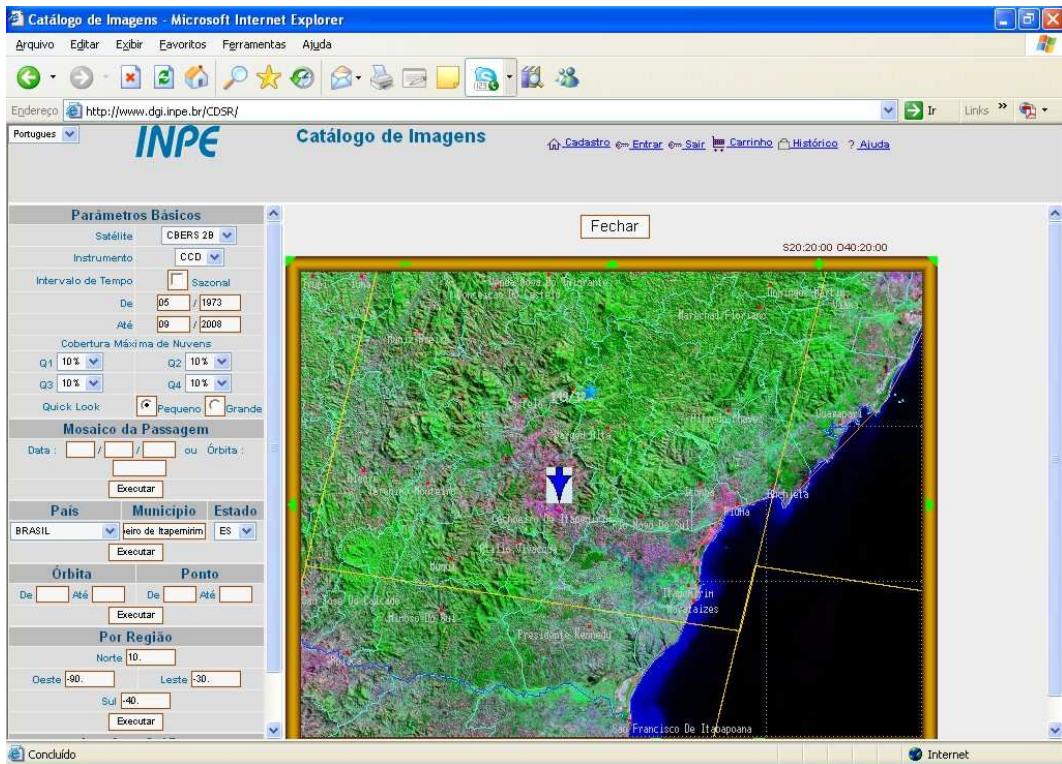


Figura 1.8. Cobertura de imagens CBERS para o município de Cachoeiro de Itapemirim, ES.

- a) Crie um diretório chamado Imagens Cachoeiro Itapemirim na unidade C: de seu computador.
- b) Extraia suas imagens para dentro deste diretório.
- c) No Spring, crie um banco de dados dentro deste diretório de trabalho com projeto e modelo de dados do tipo imagem.
- d) Faça importação das imagens CBERS utilizando a opção Abrir Imagens CBERS localizado no menu Arquivo do Spring.
- e) Observe as diferentes tonalidades de coloração em falsa-cor das imagens obtidas, interpretando a área urbana da cidade de Cachoeiro de Itapemirim, a vegetação e o Rio Itapemirim que passa por este município.

Observação: para melhor compreensão de como fazer o download de imagens gratuitas CBERS ou LANDSAT na home-page do programa CBERS, você pode visualizar o manual do usuário disponibilizado no endereço eletrônico [http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/manual\\_usuario\\_PT.htm](http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/manual_usuario_PT.htm).

3. Procure, na literatura ou na internet, informações práticas sobre as principais aplicações das bandas espectrais dos satélites:
  - a) CBERS.
  - b) LANDSAT.
  - c) IKONOS.

Posteriormente, de posse das informações obtidas, procure visualizar as bandas espectrais de cada satélite no Spring, interpretando (apenas visualizar) as principais classes de uso e ocupação do solo do quadrante representativo da bacia hidrográfica do rio Alegre, ES.

Visando aprimorar ainda mais seus conhecimentos de fotointerpretação, observe na figura 1.9 as amostras de categorias de uso e ocupação de solo extraídas de uma imagem do satélite QUICK BIRD com resolução espacial de 60 cm em composição normal e falsa-cor de uma área localizada a cerca de 40 km do centro da cidade de Alegre, ES.

<u>Área agricultada</u>	<u>Área degradada</u>	<u>Área edificada</u>	<u>Área urbana</u>	<u>Café</u>	<u>Campo sujo</u>
<u>Capoeira</u>	<u>Corpos d'água</u>	<u>Estrada não pavimentada</u>	<u>Estrada pavimentada</u>	<u>Formação rochosa</u>	<u>Fragmento florestal</u>
<u>Pastagem</u>	<u>Reflorestamento</u>	<u>Reservatório</u>	<u>Solo exposto</u>	<u>Várzea</u>	<u>Vegetação rala</u>

Figura 1.9. Amostras de categorias de uso e ocupação de solo extraídas de uma imagem do satélite QUICK BIRD com resolução espacial de 60 cm em composição normal e falsa-cor.

## **REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS**

**SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling.** Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring>. Acesso em 10/12/2009.



Este capítulo tem por objetivo realizar uma introdução ao processamento digital de imagens e apresentar diferentes técnicas de realce de contraste de imagens, objetivando melhorar a qualidade das imagens sob a percepção do olho humano, consistindo numa transferência radiométrica em cada "pixel", possibilitando aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem, independente da vizinhança.

Os assuntos abordados neste capítulo serão:

- Processamento digital de imagens.
- Contraste de Imagens.

### 2.1. INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

As técnicas de processamento digital de imagem podem ser divididas em 3 etapas mostradas na Figura 2.1:

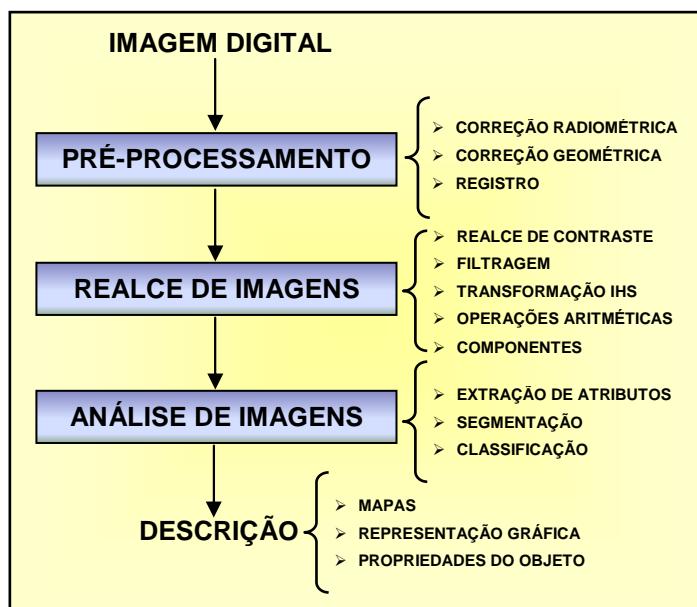


Figura 2.1. Etapas do processamento digital de imagens.

- **Pré-processamento de imagens:** é o conjunto de processamentos por que passa a imagem visando minimizar, ao máximo, suas distorções. Estas distorções podem ser classificadas em radiométricas e geométricas. As distorções radiométricas alteram os níveis de cinza de cada elemento da imagem. Já as distorções geométricas alteram a distribuição espacial dos elementos de imagem, afetando escala, afinidade, orientação, entre outras.
- **Realce de imagens:** esta técnica tem por objetivo modificar, através de funções matemáticas, os níveis de cinza ou os valores digitais de uma imagem, de modo a destacar certas informações espectrais melhorando a sua qualidade visual, facilitando a análise posterior pelo fotointérprete.

- **Análise de imagens:** está relacionada com a extração de informação de imagens. Inclui a segmentação e classificação de imagens. A segmentação de imagens tem por objetivo fragmentar uma região, em unidades homogêneas, considerando algumas de suas características intrínsecas, como por exemplo, o nível de cinza dos pixels, textura e contraste. Já a classificação de imagens visa à categorização da cobertura da terra distinguindo as composições de diferentes materiais superficiais, sendo uma segmentação específica usando técnicas de reconhecimento de padrões.

## **2.2 - CONTRASTE DE IMAGENS**

Visando executar técnicas de realce de contraste de imagens, por meio do aplicativo SPRING 5.1.2, será utilizada a seguinte área de estudo e imagem de satélite:

- **ÁREA 1:** quadrante representativo do Campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) (Figura 2.2) – bandas espectrais do satélite QUICKBIRD.

As bandas espectrais do satélite **QUICKBIRD** correspondentes à área de estudo, as quais serão utilizadas neste capítulo, são as descritas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Imagens do satélite QUICKBIRD oriundas do quadrante representativo do Campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

SATÉLITE QUICKBIRD (21/04/05)			
BANDAS ESPECTRAIS	INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA ( $\mu\text{m}$ )	FAIXA ESPECTRAL	TAMANHO DAS IMAGENS
ufes_1	0.45 - 0.52 (2,4 m)	Azul	
ufes_2	0.52 - 0.60 (2,4 m)	Verde	
ufes_3	0.63 - 0.69 (2,4 m)	Vermelho	
ufes_4	0,76 – 0,90 (2,4 m)	Infravermelho próximo	17,80 KB
ufes_pan	0,45 – 0,90 (0,6 m)	Pancromática	281,65 KB

### **OBSERVAÇÃO**

O satélite QUICKBIRD foi lançado no dia 18 de outubro de 2001, sendo operado pela DIGITALGLOBE que detém os direitos de comercialização em todo o mundo. Portanto, visando não comprometer os direitos de comercialização da DIGITALGLOBE, neste livro, as imagens dos satélites QUICKBIRD são disponibilizadas num tamanho reduzido (pequena amostra equivalente a uma área de 0,1 km<sup>2</sup>) com tamanho de 17,80 KB (bandas espectrais do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo) e 281,65 KB (banda pancromática). Abaixo, seguem os contatos comerciais da empresa IMAGEM (representante da DIGITALGLOBE no Brasil):

Endereço: Rua Itororó, 555, Vila Bandeirantes, São José dos Campos, SP. CEP: 12.216-440.

Telefones: (55) \*\* 12 3946.8933 / Fax: (55) \*\* 12 3946.8945.

Home-page: <http://www.img.com.br> (IMAGEM)  
<http://www.digitalglobe.com> (DIGITALGLOBE)

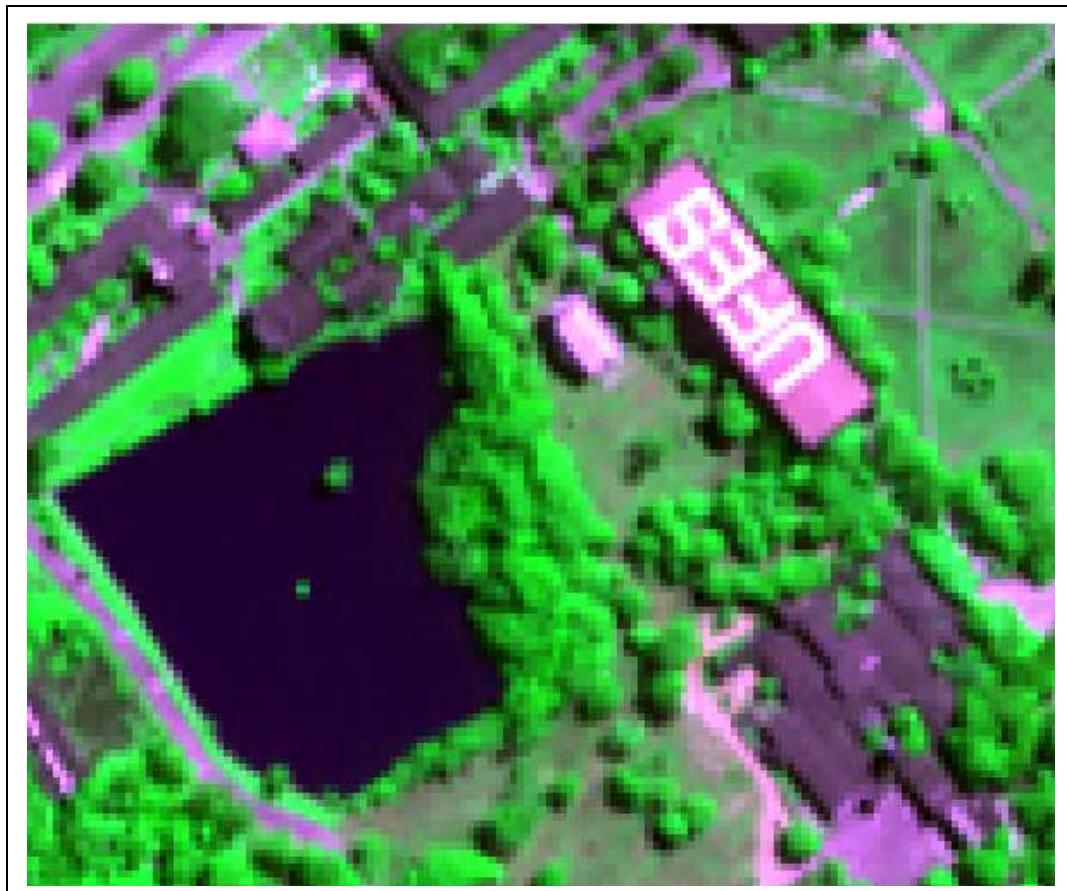


Figura 2.2. Área 1 - quadrante representativo do Campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) – Imagem do satélite QUICKBIRD em composição Falsa-cor – resolução espacial de 2,4 m.

A técnica de realce de imagens tem por objetivo melhorar a qualidade visual da imagem, aumentando a interpretação e a quantidade de informação. Geralmente é utilizada como uma etapa de pré-processamento de imagens.

Na prática, a técnica de realce de uma imagem modifica sua escala de cinza, sendo uma operação pontual, em que o novo valor do ponto depende apenas do valor antigo deste ponto. Para tanto, o usuário deve manipular o histograma original de uma imagem, distribuindo melhor os níveis de cinza ao longo de sua escala (Figura 2.3). Já a Figura 2.4 mostra a ampliação de uma imagem em falsa-cor realçada com contraste linear.

O realce de contraste pode ser feito mapeando as variações dentro do intervalo de tons de cinza  $[V_{\min} - V_{\max}]$  da imagem original para a variação máxima do dispositivo de visualização que, geralmente, é  $[0, 255]$ .  $V_{\min}$  e  $V_{\max}$  são os valores de níveis de cinza (NCs) mínimos e máximos, respectivamente, presentes na imagem original. O mapeamento é realizado por meio de uma função de mapeamento (Figura 2.5). Cada valor do nível de cinza na imagem original é mapeada para um novo valor de acordo com uma função de transferência, que pode ser definida como:

$$y = f(x)$$

Em que,  
 y: novo valor correspondente;  
 x: nível de cinza original.

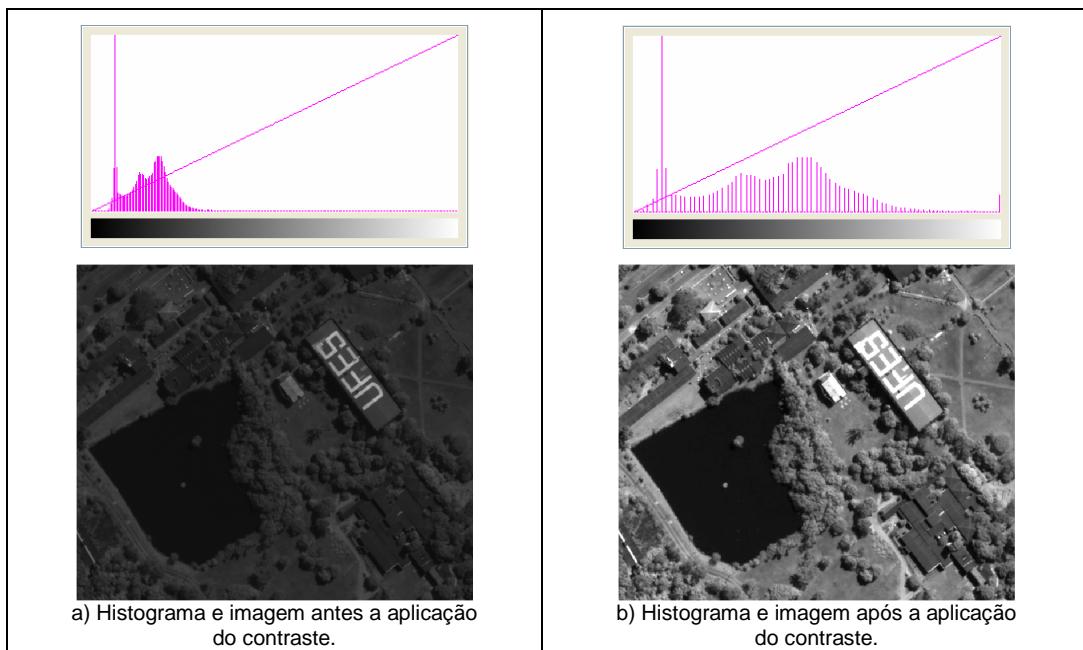


Figura 2.3. Histograma e imagem antes (a) e após (b) a aplicação do contraste (contraste linear) no SPRING 5.1.2.

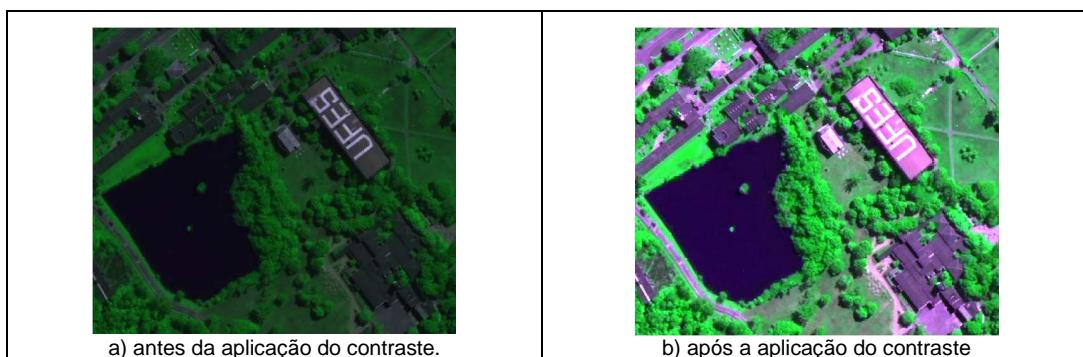


Figura 2.4. Histograma e imagem antes (a) e após (b) a aplicação do contraste (contraste linear) no SPRING 5.1.2.

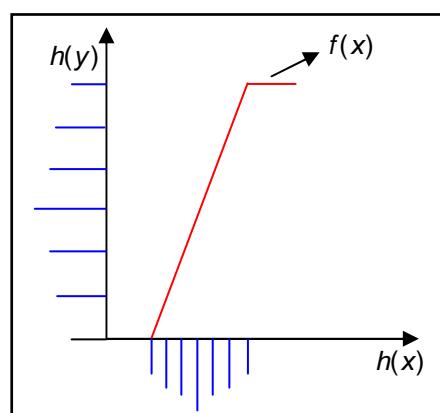
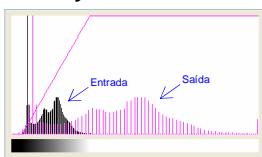
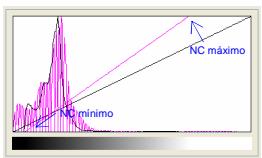
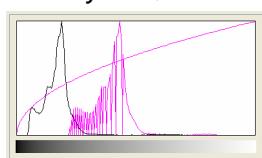
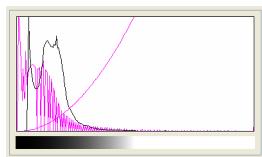
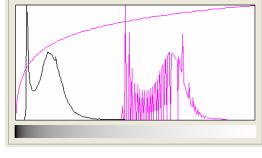
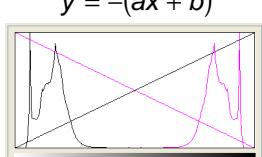
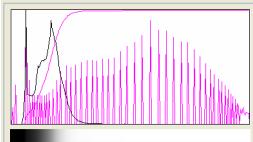
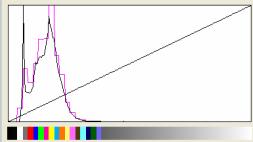
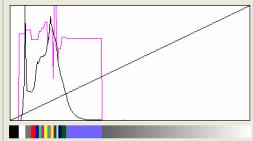
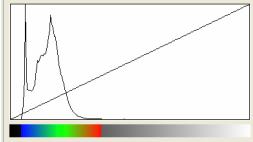
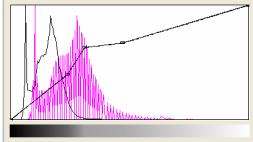


Figura 2.5. Função de mapeamento.

A Tabela 2.2 mostra as características dos métodos de realce de contraste disponibilizados no SPRING 5.1.2.

**Tabela 2.2. Características dos métodos de realce de contraste disponibilizados no SPRING 5.1.2 (SPRING, 2009).**

MÉTODO	FUNÇÃO E HISTOGRAMA (SPRING)	CARACTERÍSTICA
Linear	$y = ax + b$ 	No aumento linear de contraste as barras que formam o histograma da imagem de saída são espaçadas igualmente, uma vez que a função de transferência é uma reta. Como podemos observar, na figura ao lado, o histograma de saída será idêntico, em formato, ao histograma de entrada, exceto quando ele tiver um valor médio e um espalhamento diferente.
Mínimo máximo	$y = ax + b$ 	Este método é idêntico ao linear. A diferença está no momento em que é feita a escolha da opção. Como se pode observar, na figura ao lado, assim que é feita a opção, o sistema calcula o valor de nível de cinza mínimo e máximo que é ocupado pela imagem original. De posse desses valores, é aplicada uma transformação linear em que a base da reta é posicionada no valor mínimo e o topo da reta no valor máximo. Desse modo, não haverá perda de informação, isto é, todos os níveis de cinza continuarão com o mesmo número de pixels.
Raiz Quadrada	$y = a\sqrt{x}$ 	Utiliza-se a opção de transformação por raiz quadrada para aumentar o contraste das regiões escuras da imagem original. A função de transformação é representada pela curva, como mostra a figura ao lado. Observe que a inclinação da curva é tanto maior quanto menores os valores de níveis de cinza.
Quadrado	$y = ax^2$ 	Utiliza-se este mapeamento quando se deseja aumentar o contraste de feições claras (altos níveis de cinza da imagem). Observe, na figura ao lado que o aumento de contraste é maior a partir da média do histograma, mesmo havendo um deslocamento geral para a região de níveis mais escuros.
Logaritmo	$y = a \cdot \log(x + 1)$ 	O mapeamento logarítmico de valores de níveis de cinza é útil para aumento de contraste em feições escuras (valores de cinza baixos). Equivale a uma curva logarítmica como mostrado na figura ao lado.
Negativo	$y = -(ax + b)$ 	É uma função de mapeamento linear inversa, ou seja, o contraste ocorre de modo que as áreas escuras (baixos valores de nível de cinza) tornam-se claras (altos valores de nível de cinza) e vice-versa. A figura ao lado mostra sua representação.

<b>Equalização de Histograma</b>	$y = \frac{f_{\text{axi}} \cdot 255}{P_t}$ <p>Em que, faxi: frequência acumulada para o nível de cinza xi; Pt: população total (número total de pixel).</p> 	<p>É uma maneira de manipulação de histograma que reduz, automaticamente o contraste em áreas muito claras ou muito escuras, numa imagem. Expande também os níveis de cinza ao longo de todo intervalo. Consiste em uma transformação não-linear que considera a distribuição acumulativa da imagem original, para gerar uma imagem resultante, cujo histograma será aproximadamente uniforme (veja figura ao lado).</p> <p>A opção de equalização é, automaticamente, calculada e apresentada, de modo que o usuário não poderá alterar a forma ou posição da curva, permanecendo a tela no modo estático.</p>
<b>Fatiamento</b>	 <p>Fatiamento normal com 16 fatias</p>	<p>A opção fatia (ou fatiamento de níveis de cinza) é uma forma de aumento de contraste cuja operação consiste simplesmente em realçar os pixels cujas intensidades situam-se dentro de um intervalo específico (a fatia), isto é, entre um máximo e um mínimo. Consiste na divisão do intervalo total de níveis de cinza de determinadas fatias (ou classes de cores).</p>
	 <p>Fatiamento equidistribuição com 16 fatias</p>	<p>De acordo com o critério de determinação dos intervalos de níveis de cinza, pode-se obter fatiamento normal, equidistribuição e arco-íris.</p> <p><b>Fatiamento normal:</b> as fatias são definidas de modo que o intervalo entre cada faixa seja constante.</p>
	 <p>Fatiamento equidistribuição com 16 fatias</p>	<p><b>Fatiamento equidistribuição:</b> o intervalo de níveis de cinza é dividido de modo que cada faixa contenha o mesmo número de pontos.</p> <p><b>Fatiamento arco-íris:</b> é o mapeamento de um tom de cinza para uma determinada cor. Baseia-se no fato de que variações de cores são muito mais visíveis ao olho humano do que variações de tons de cinza. O mapeamento global desses níveis para o espaço de cor segue a sequência do arco-íris.</p>
<b>Edição</b>		<p>Permite a aplicação de uma tabela de transformação radiométrica definida pelo usuário. O seu objetivo é salientar um aspecto específico da imagem que o usuário deseja analisar.</p> <p>No Spring, pode-se utilizar as opções <u>ELIMINAR</u>, <u>ADICIONAR</u> e <u>MOVER</u> para manipular o histograma.</p>

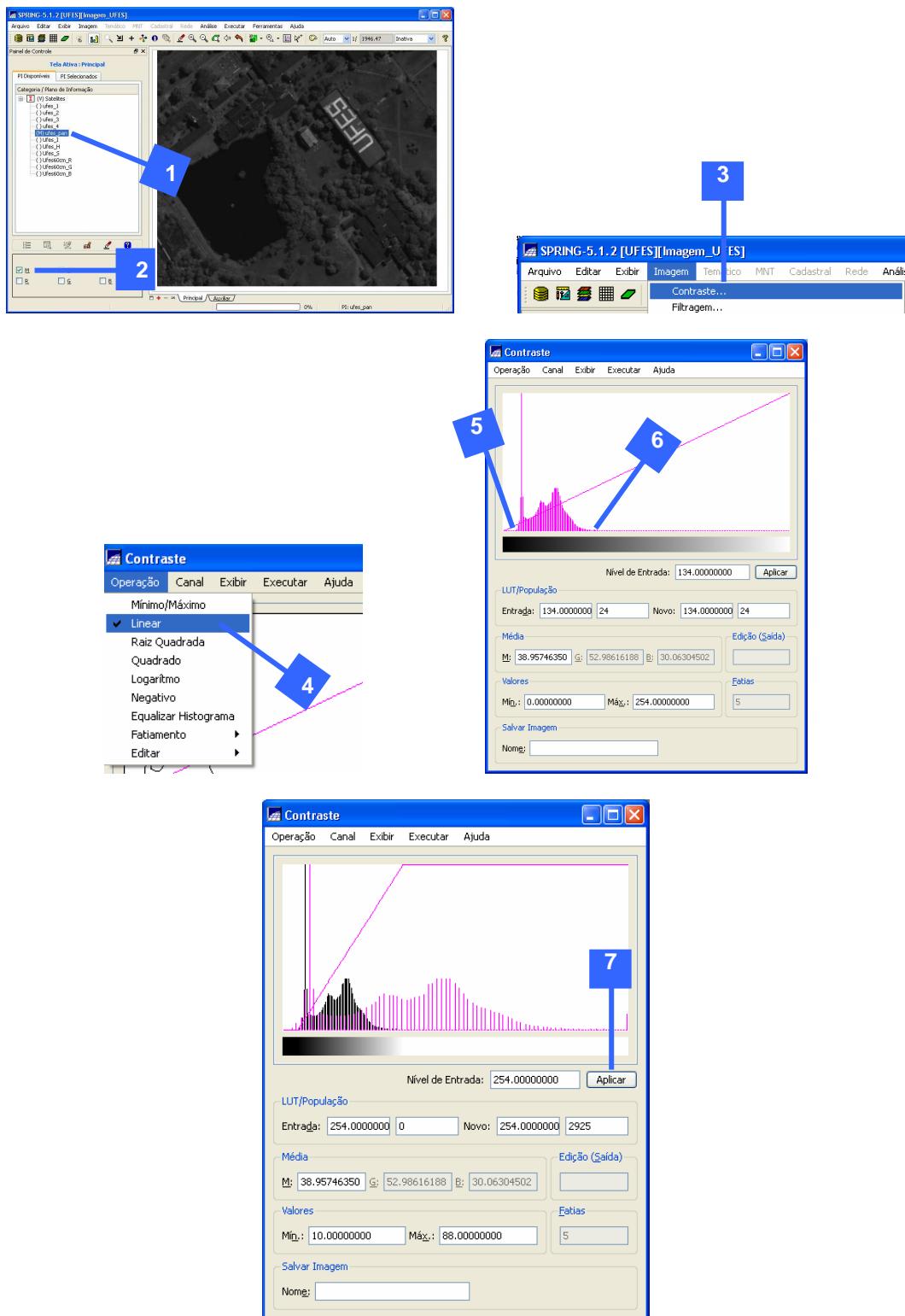
Agora, você irá aplicar a técnica de realce de contraste de imagem (método linear) sobre as seguintes imagens:

IMAGENS	COR	REALCE DE IMAGEM
ufes_pan	Pancromática	
Ufes_2 (B)		
Ufes_4 (G)		
Ufes_3 (R)		
	Falsa-cor	Linear

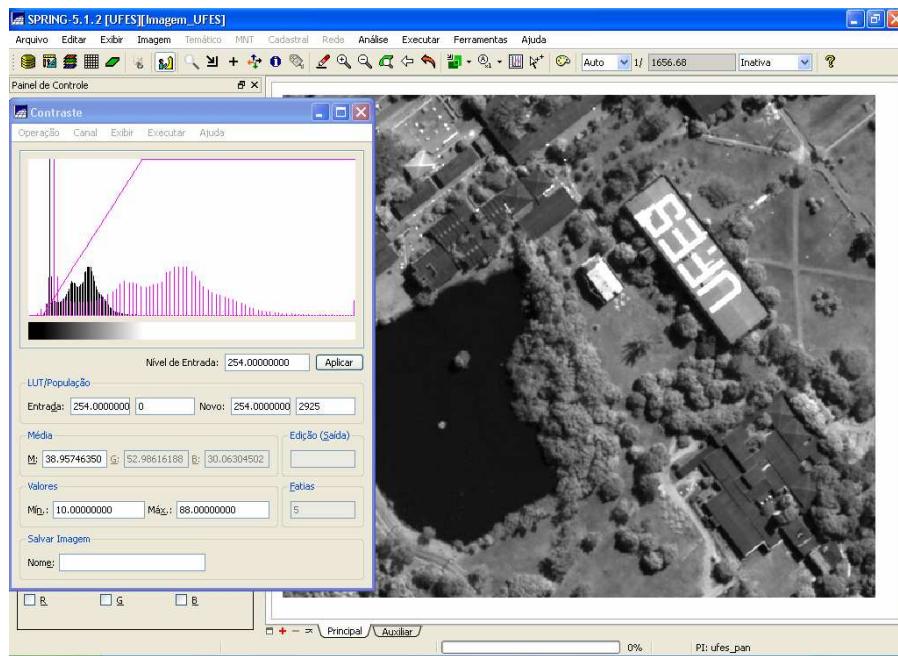
#### ❖ REALCE DE IMAGEM (MÉTODO LINEAR) – BANDA PANCRÔMÁTICA

1. No painel de controle, selecione a imagem **ufes\_pan**.
2. Marque a opção **M** (níveis de cinza).

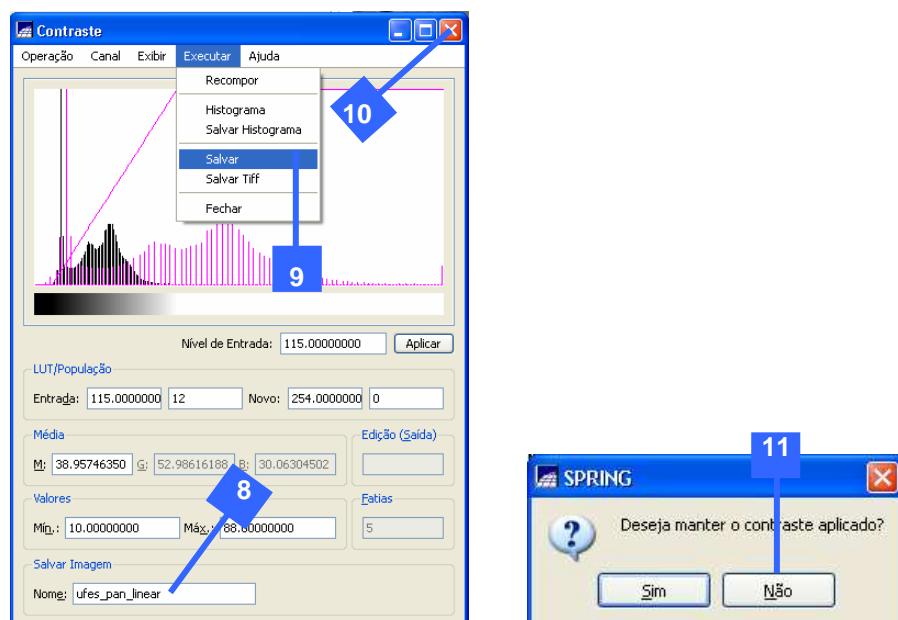
3. No menu **Imagen**, clique sobre a opção **Contraste**.
4. Na caixa de diálogo **Contraste**, no menu **Operação**, clique na opção **Linear**.
5. Na caixa de diálogo **Contraste**, clique com o **botão esquerdo do mouse** sobre o início da curva do histograma localizado do lado esquerdo do mesmo.
6. Clique com o **botão direito do mouse** sobre o final da curva do histograma localizado do lado direito do mesmo.
7. Clique no botão **Aplicar**.

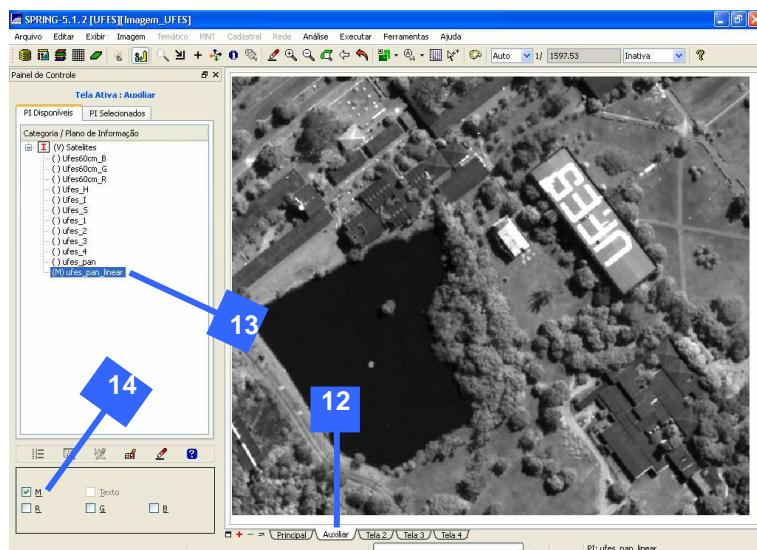


Abaixo, é demonstrada a imagem pancromática do satélite QUICKBIRD após a aplicação do contraste linear.



8. Na caixa de diálogo **Contraste**, na caixa de entrada **Nome**, digite **ufes\_pan\_linear**.
9. No menu **Executar**, clique na opção **Salvar**.
10. Clique no botão **Fechar**
11. Clique no botão **Não** para não manter o contraste aplicado sobre a imagem atual, pois você já salvou esta imagem com outro nome, anteriormente.
12. Clique na guia **Auxiliar**.
13. No painel de controle, selecione a imagem **ufes\_pan\_linear**.
14. Marque a opção **M** (níveis de cinza).





Abaixo, são demonstradas as imagens pancromáticas do satélite QUICKBIRD, antes e após a aplicação da técnica de contraste linear.



a) Imagem antes da aplicação do contraste linear.

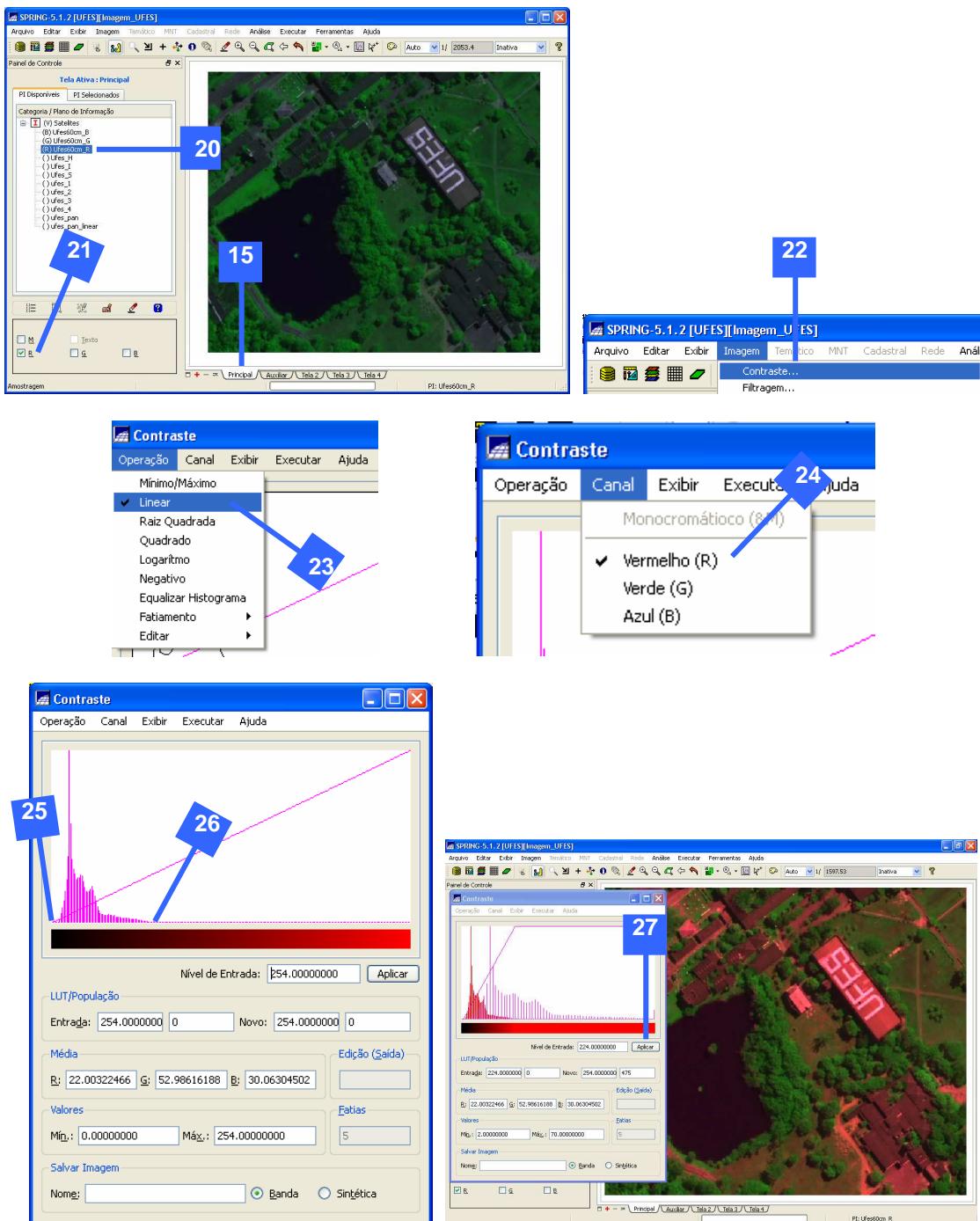


b) Imagem após a aplicação do contraste linear.

15. Na parte inferior do Spring, clique na guia **Principal**.
16. No **Painel de Controle**, selecione a imagem intitulada **Ufes60cm\_B**.
17. Na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **B** (azul).
18. Selecione a imagem intitulada **Ufes60cm\_G**.
19. Marque a caixa representativa da letra **G** (verde).
20. Selecione a imagem intitulada **Ufes60cm\_R**.
21. Marque a caixa representativa da letra **R** (vermelho)

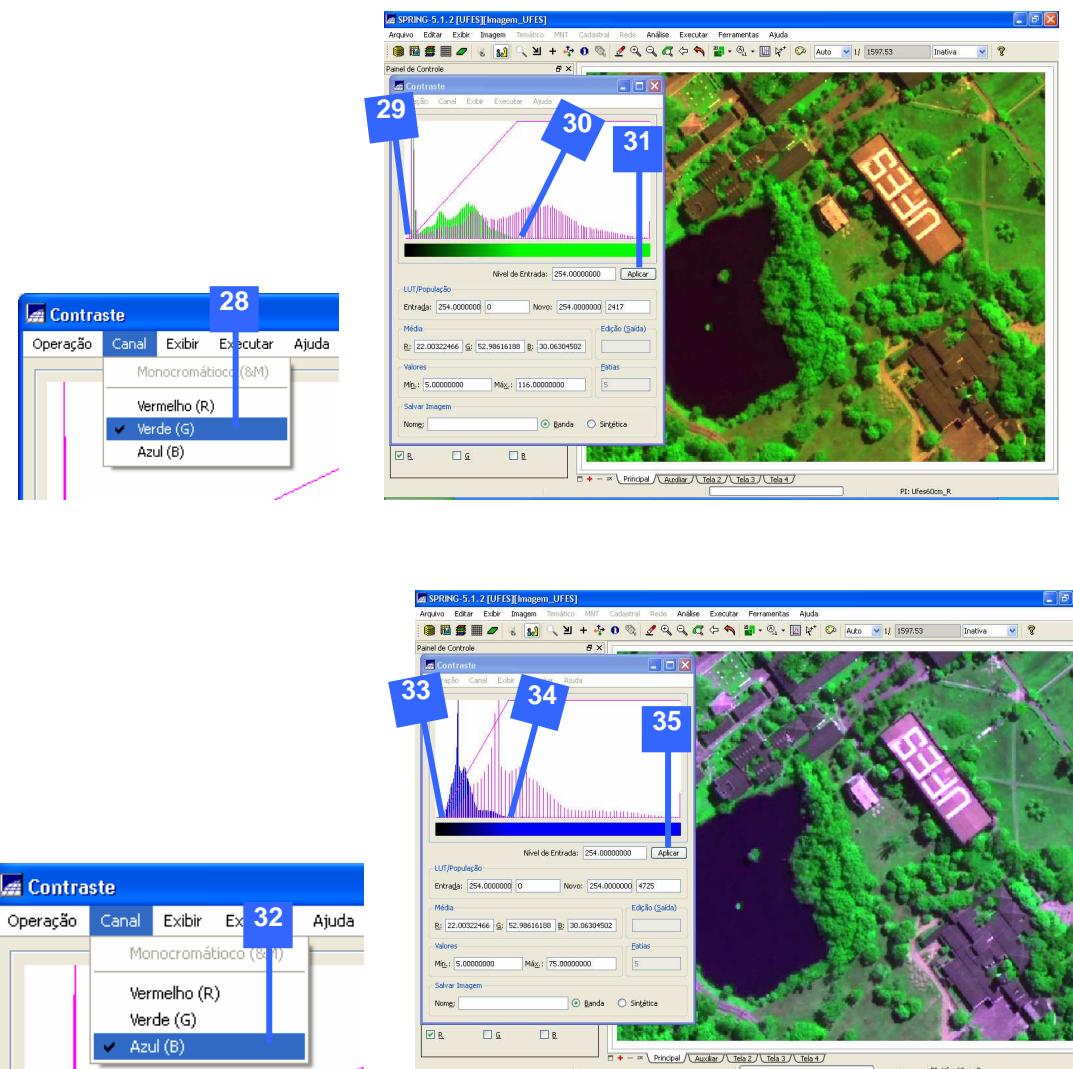
Agora você irá aplicar um contraste linear sobre o canal Vermelho da seguinte forma:

22. No menu **Imagem**, clique sobre a opção **Contraste**.
23. Na caixa de diálogo **Contraste**, no menu **Operação**, clique na opção **Linear**.
24. No menu **Canal**, clique na opção **Vermelho**.
25. Na caixa de diálogo **Contraste**, clique com o **botão esquerdo do mouse** sobre o início da curva do histograma localizado do lado esquerdo do mesmo.
26. Clique com o **botão direito do mouse** sobre o final da curva do histograma localizado do lado direito do mesmo.
27. Clique no botão **Aplicar**.



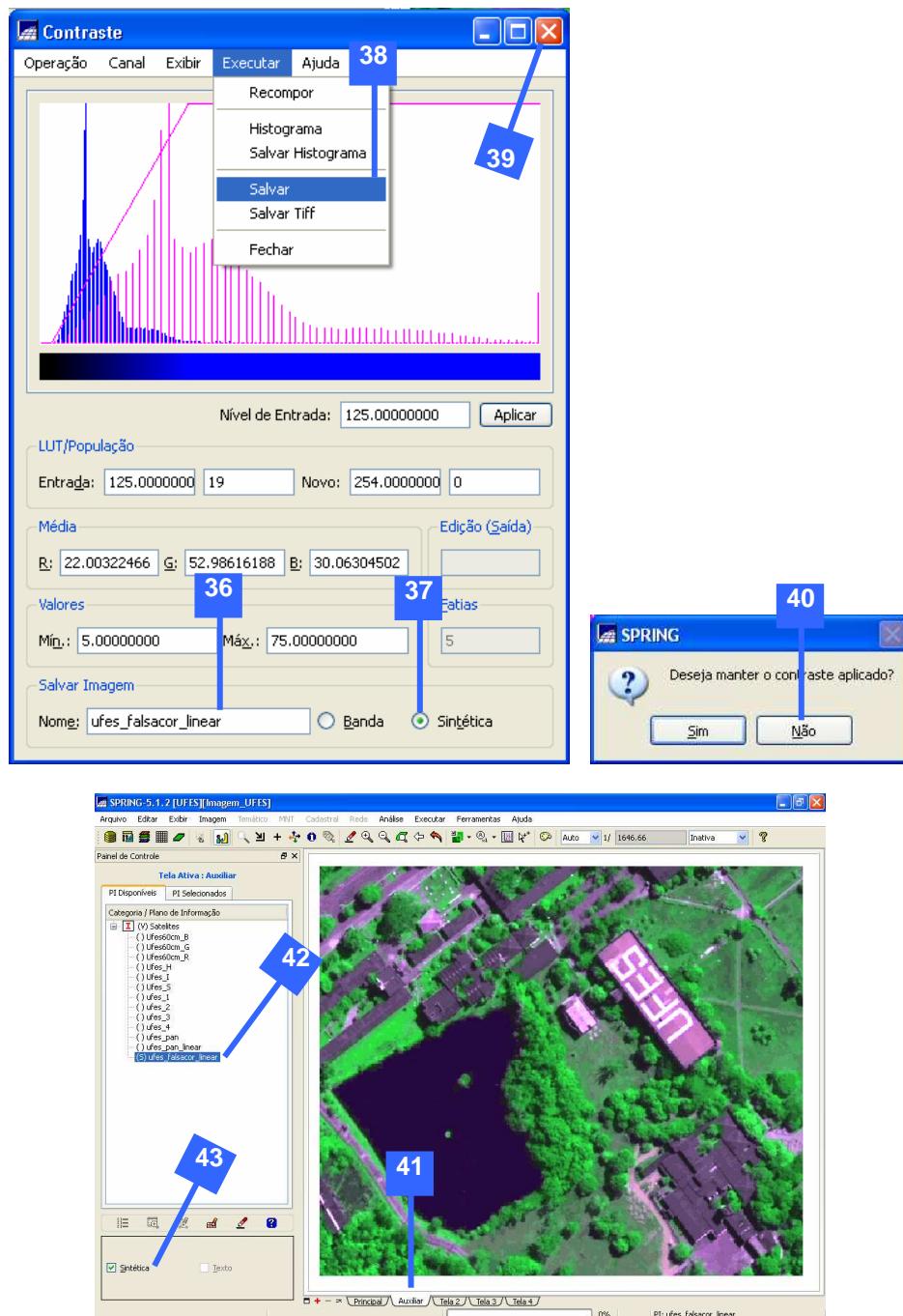
Repita os passos anteriores para os canais Verde e Azul da seguinte forma:

28. No menu **Canal**, clique na opção **Verde**.
29. Na caixa de diálogo **Contraste**, clique com o **botão esquerdo do mouse** sobre o início da curva do histograma localizado do lado esquerdo do mesmo.
30. Clique com o **botão direito do mouse** sobre o final da curva do histograma localizado do lado direito do mesmo.
31. Clique no botão **Aplicar**.
32. No menu **Canal**, clique na opção **Azul**.
33. Na caixa de diálogo **Contraste**, clique com o **botão esquerdo do mouse** sobre o início da curva do histograma localizado do lado esquerdo do mesmo.
34. Clique com o **botão direito do mouse** sobre o final da curva do histograma localizado do lado direito do mesmo.
35. Clique no botão **Aplicar**.



Agora, você irá salvar a composição colorida em falsa-cor como uma imagem sintética, mantendo o contraste linear aplicado sobre os canais vermelho, verde e azul.

36. Na caixa de diálogo **Contraste**, na caixa de entrada **Nome**, digite **ufes\_falsacor\_linear**.
37. Marque a opção **Sintética**.
38. No menu **Executar**, clique na opção **Salvar**.
39. Clique no botão **Fechar**
40. Clique no botão **Não** para não manter o contraste aplicado sobre a imagem atual, pois você já salvou esta imagem com outro nome anteriormente.
41. Clique na guia **Auxiliar**.
42. No painel de controle, selecione a imagem **ufes\_falsacor\_linear**.
43. Marque a opção **S (Sintética)**.



Abaixo, são demonstradas as imagens em falsa cor do satélite QUICKBIRD, antes e após a aplicação da técnica de contraste linear.



a) antes da aplicação do contraste linear.



b) após a aplicação do contraste linear.

### **EXERCÍCIOS**

1. Sobre as imagens do satélite QUICKBIRD mostradas na Tabela 2.3, utilize todos os métodos de realce de contraste (Tabela 2.4) disponibilizados no SPRING para melhorar a qualidade visual das seguintes imagens: Pancromática e falsa-cor. Após a aplicação de cada método de realce de contraste, faça uma discussão sobre os resultados obtidos baseando-se no seu respectivo histograma.

Tabela 2.3. Bandas espectrais do satélite QUICKBIRD disponibilizadas no banco de dados [UFES].

SATELITE QUICK BIRD (21/04/05)		
BANDAS ESPECTRAIS	INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA ( $\mu m$ )	FAIXA ESPECTRAL
ufes_1	0.45 - 0.52 (2,4 m)	Azul (B)
ufes_2	0.52 - 0.60 (2,4 m)	Verde (G)
ufes_3	0.63 - 0.69 (2,4 m)	Vermelho (R)
ufes_pan	0,45 - 0,90 (0,6 m)	Pancromática

Tabela 2.4. Métodos de realce de imagem a serem utilizados no SPRING.

MÉTODOS DE REALCE DE CONTRASTE A SEREM EXECUTADOS	
Minímo máximo	Logarítmico
Raiz Quadrada	Negativo
Quadrado	Equalização de Histograma

2. Ative o banco de dados intitulado [Bacia\_Rio\_Alegre] e aplique o método de realce de contraste linear sobre as seguintes composições coloridas:

a) Satélite IKONOS:

- Composição colorida falsa-cor: bandas verde (Ikonos\_band\_2), vermelho (Ikonos\_band\_3) e infravermelho (Ikonos\_band\_4).

b) Satélite CBERS:

- Composição colorida falsa-cor: bandas verde (banda2\_210708), vermelho (banda3\_210708) e infravermelho (banda4\_210708);

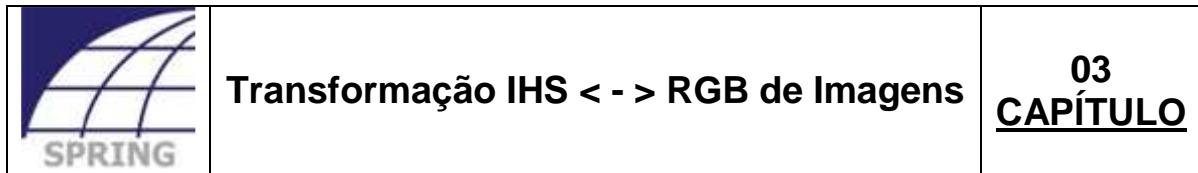
c) Satélite LANDSAT:

- Composição colorida falsa-cor: bandas verde (b2\_300501), vermelho (b3\_300501) e infravermelho (b4\_300501);

Após a aplicação de cada contraste linear, capture seu respectivo histograma na forma de imagem. Posteriormente, compare os histogramas de cada imagem elaborada (diferentes satélites) e descreva seu comportamento.

### **REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS**

**SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling.** Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring>. Acesso em 10/12/2009.



Neste capítulo, você irá aplicar uma transformação IHS < - > RGB sobre as bandas multi-espectrais do satélite QUICKBIRD que apresentam resolução espacial de 2,4 m, visando obter uma imagem em falsa-cor com resolução espacial de 0,6 m melhorando a qualidade de fotointerpretação das imagens de satélites.

O assunto abordado neste capítulo será:

- Transformação IHS < - > RGB de imagens.

### **3.1 - TRANSFORMAÇÃO IHS < - > RGB DE IMAGENS**

O controle dos equipamentos de visualização de imagens multiespectrais é feito através das componentes R, G e B que apresentam os seguintes significados:

LETRA	INGLÊS	PORUGUÊS
R	Red	Vermelho
G	Green	Verde
B	Blue	Azul

Neste tópico, será abordada a técnica de transformação no espaço de cores ou, mais precisamente, a transformação IHS que apresentam os seguintes significados:

LETRA	INGLÊS	PORUGUÊS
I	Intensity	Intensidade
H	Hue	Matiz
S	Saturation	Saturação

A transformação IHS consiste em projetar a informação de cores representadas no espaço Vermelho-Verde-Azul (RGB) para outro conjunto de eixos de medição de cores, no caso, o IHS para descrever a amplitude de possíveis variações na tonalidade das cores.

O sistema IHS possui a vantagem de apresentar as cores de uma forma mais aproximada àquela utilizada pelo sistema de visão humana, pois os tons são descritos em termos de Intensidade, Matiz e Saturação que apresentam os seguintes significados:

LETRA	PORUGUÊS	SIGNIFICADO
I	Intensidade	representa o brilho ou a energia total da imagem
H	Matiz	representa o comprimento de onda dominante da cor
S	Saturação	representa a pureza da cor

Além disso, a transformação para o espaço IHS permite um maior controle individual sobre os componentes cromáticos (matiz) e acromáticos (saturação) da imagem.

A relação espacial entre o espaço RGB e IHS é mostrada na Figura 3.1. Observa-se que o sistema IHS pode ser graficamente representado por um cone.

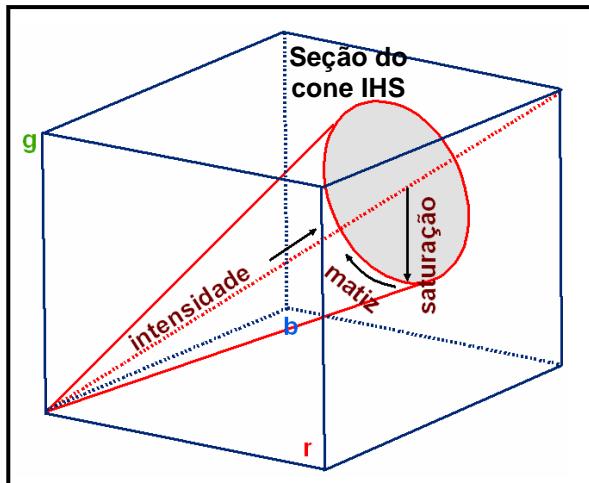


Figura 3.1. Relação espacial entre o sistema RGB e IHS.

Na Figura 3.1, o sistema IHS pode ser explicado da seguinte forma:

- Intensidade: distância do ponto até a origem ou ápice do cone.
- Matiz: sequência radial ao redor dos círculos de saturação e do eixo de intensidade.
- Saturação: distância radial do ponto até o eixo central do cone.

Por serem independentes, os três parâmetros podem ser analisados e modificados, separadamente, para um melhor ajuste das cores às características do sistema visual.

Na transformação RGB para IHS, escolhem-se três bandas de uma imagem e associa-se cada banda a um dos componentes RGB. Assim, cada "pixel", na imagem de saída, possuirá uma correspondência a um ponto no espaço IHS. O resultado é um conjunto de três novas imagens: uma de intensidade, uma de matiz e outra de saturação.

Na transformação IHS, pode-se realizar a combinação de imagens de diferentes sensores e resolução espacial.

Neste tópico, você irá aplicar uma transformação IHS sobre as bandas multiespectrais do satélite QUICKBIRD (Tabela 3.1) que apresentam resolução espacial de 2,4 m, visando obter uma imagem em falsa-cor com resolução espacial de 0,6 m.

Observe na Tabela 3.1, que, inicialmente, as bandas verde, vermelho e infravermelho próximo apresentam resolução espacial de 2,4 m. Após a transformação IHS, estas mesmas bandas espectrais apresentarão resolução espacial de 0,6 m, melhorando a capacidade de fotointerpretação. A Figura 3.2 mostra como a qualidade da imagem falsa cor irá melhorar após a transformação IHS.

Tabela 3.1. Imagens do satélite QUICKBIRD oriundas do quadrante representativo do Campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

SATÉLITE QUICK BIRD (21/04/05)		
BANDAS ESPECTRAIS	INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA ( $\mu\text{m}$ )	FAIXA ESPECTRAL
ufes_1	0,45 – 0,52 (2,4 m)	Azul
ufes_2	0,52 – 0,60 (2,4 m)	Verde
ufes_3	0,63 – 0,69 (2,4 m)	Vermelho
ufes_4	0,76 - 0,90 (2,4 m)	Infravermelho próximo
ufes_pan	0,45 - 0,90 (0,6 m)	Pancromática

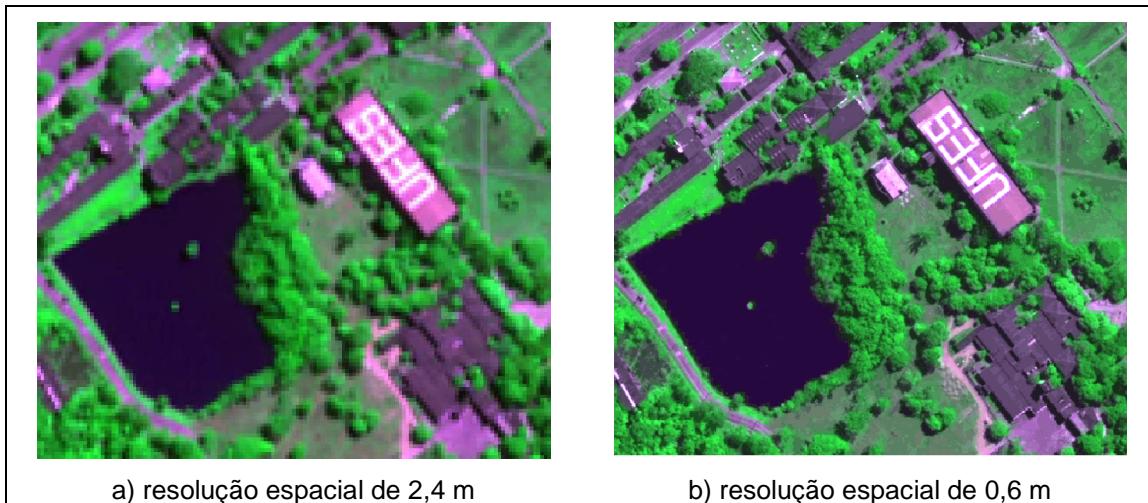
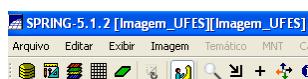


Figura 3.2. Comparaçao entre imagens em falsa-cor do satélite QUICBIRD antes e aps a transformação IHS.

❖ **TRANSFORMAÇÃO IHS <-> RGB**

Nesta etapa, você irá realizar a transformação IHS <-> RGB, visando elaborar uma composição em falsa-cor com resolução espacial de 0,6 m.

Incialmente, você deverá abrir o SPRING 5.1.2 e ativar o Banco de Dados e o Projeto, ambos intitulados IMAGEM\_UFES:



Abaixo, é demonstrada a última imagem em falsa-cor exibida no Capítulo 2 (Figura 3.3).

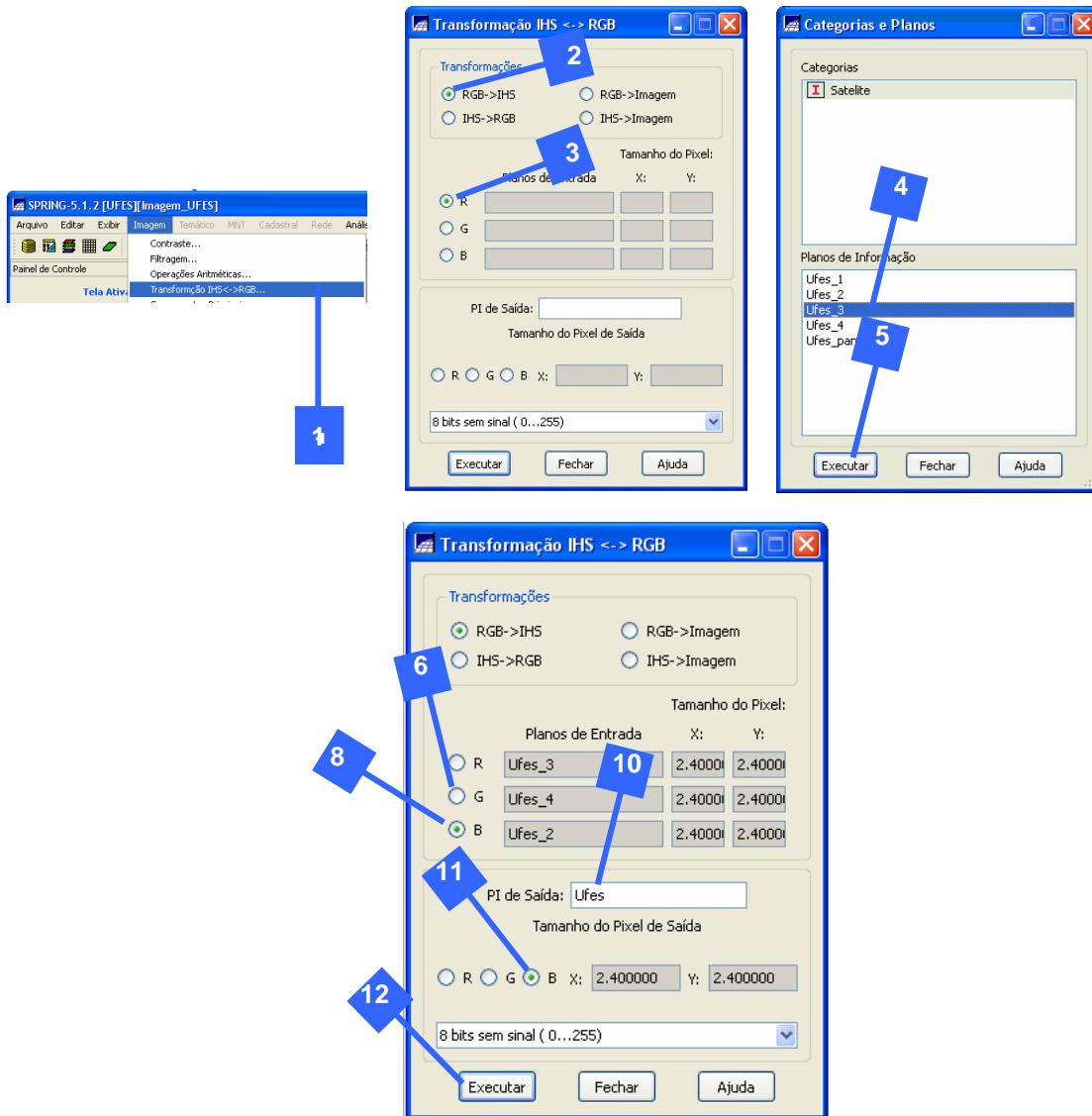


Figura 3.3. Última imagem em falsa-cor exibida no Capítulo 2

1. No menu **Imagen**, clique em **Transformação IHS <->RGB**.
2. Na caixa de diálogo **Transformação IHS <-> RGB**, marque a opção **RGB <-> IHS** do painel **Transformações**.
3. Marque a opção **R** (vermelho).
4. Na caixa **Categorias e Planos**, selecione a imagem **ufes\_3** (banda do vermelho).
5. Clique no botão **Executar**.
6. Marque a opção **G** (verde) e selecione a imagem **ufes\_4** (banda do infravermelho).
7. Clique no botão **Executar**.

## Capítulo 3 – Transformação IHS < - > RGB de Imagens

8. Marque a opção **B** (azul) e selecione a imagem **ufes\_2** (banda do azul).
9. Clique no botão **Executar**.
10. Na caixa de entrada **PI de Saída**, digite **Ufes**.
11. Marque a opção **B** para aceitar **2,4 m** para o **Tamanho do Pixel de Saída**.
12. Clique no botão **Executar**.



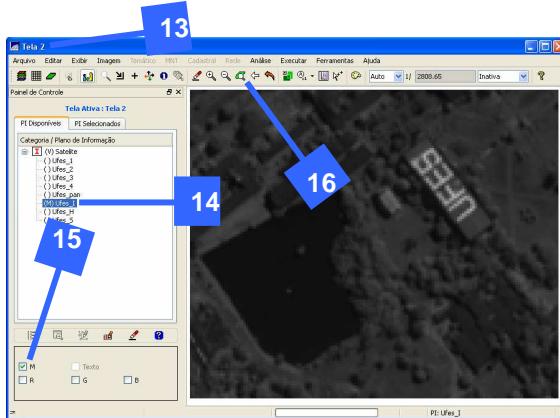
Abaixo, são demonstradas as novas imagens geradas Ufes\_I (intensidade), Ufes\_H (matiz) e Ufes\_S (saturação).



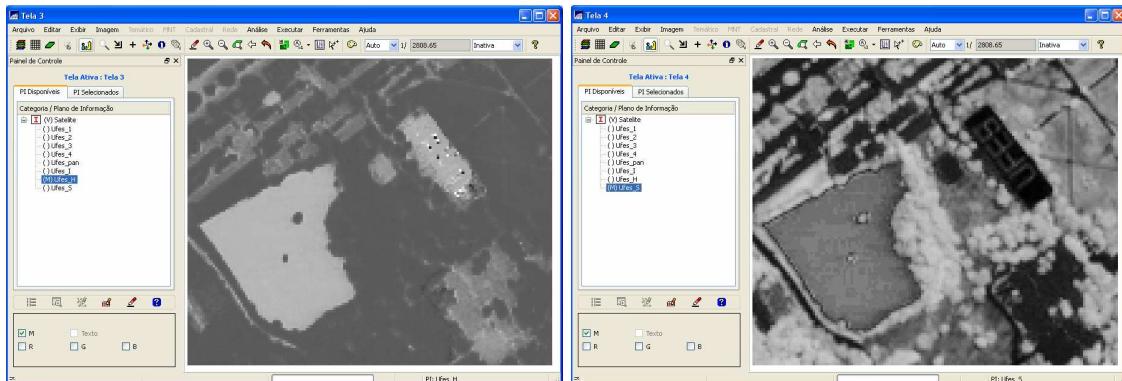
Agora, você irá visualizar cada uma das imagens geradas: Ufes\_I, Ufes\_H e Ufes\_S.

13. Selecione a **Tela Ativa 2**.
14. Selecione a imagem **Ufes\_I**.
15. Marque a opção **M**.
16. Clique na ferramenta **ZOOM PI**.

Repita os passos anteriores (de 13 a 16) para as imagens Ufes\_H (usando a Tela 3) e Ufes\_S (usando a Tela 4).

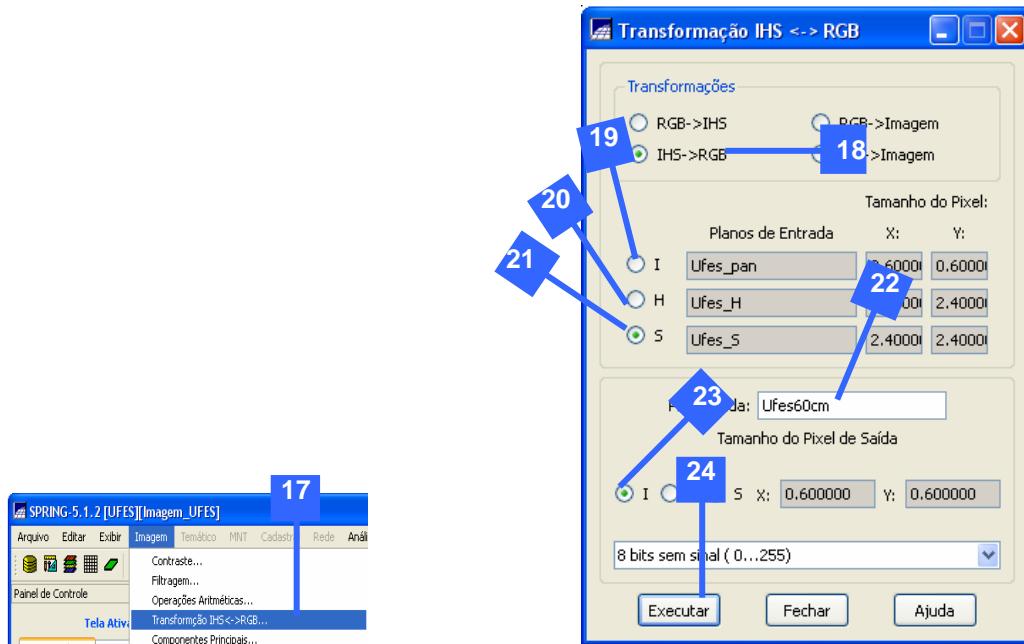


Abaixo, são demonstradas as outras imagens geradas.



Agora, você irá aplicar uma transformação IHS->RGB, visando elaborar uma imagem em falsa cor com resolução espacial de 0,6 m.

17. No menu **Imagen**, clique em **Transformação IHS <-> RGB**.
18. Na caixa de diálogo **Transformação IHS <-> RGB**, marque a opção **IHS <-> RGB** do painel **Transformações**.
19. Marque a opção **I** (intensidade) e selecione a imagem **ufes\_pan** (banda panchromática de 0,6 m).
20. Marque a opção **H** (matiz) e selecione a imagem **Ufes\_H** (imagem discretizando o matiz).
21. Marque a opção **S** (saturação) e selecione a imagem **Ufes\_S** (imagem discretizando a saturação).
22. Na caixa de entrada **PI de Saída**, digite **Ufes60cm**.
23. Marque a opção **I** para aceitar **0,6 m** para o **Tamanho do Pixel de Saída**.
24. Clique no botão **Executar**.



Agora, você está pronto para elaborar uma composição em falsa-cor com as imagens geradas com resolução de 0,6 m mostradas abaixo:

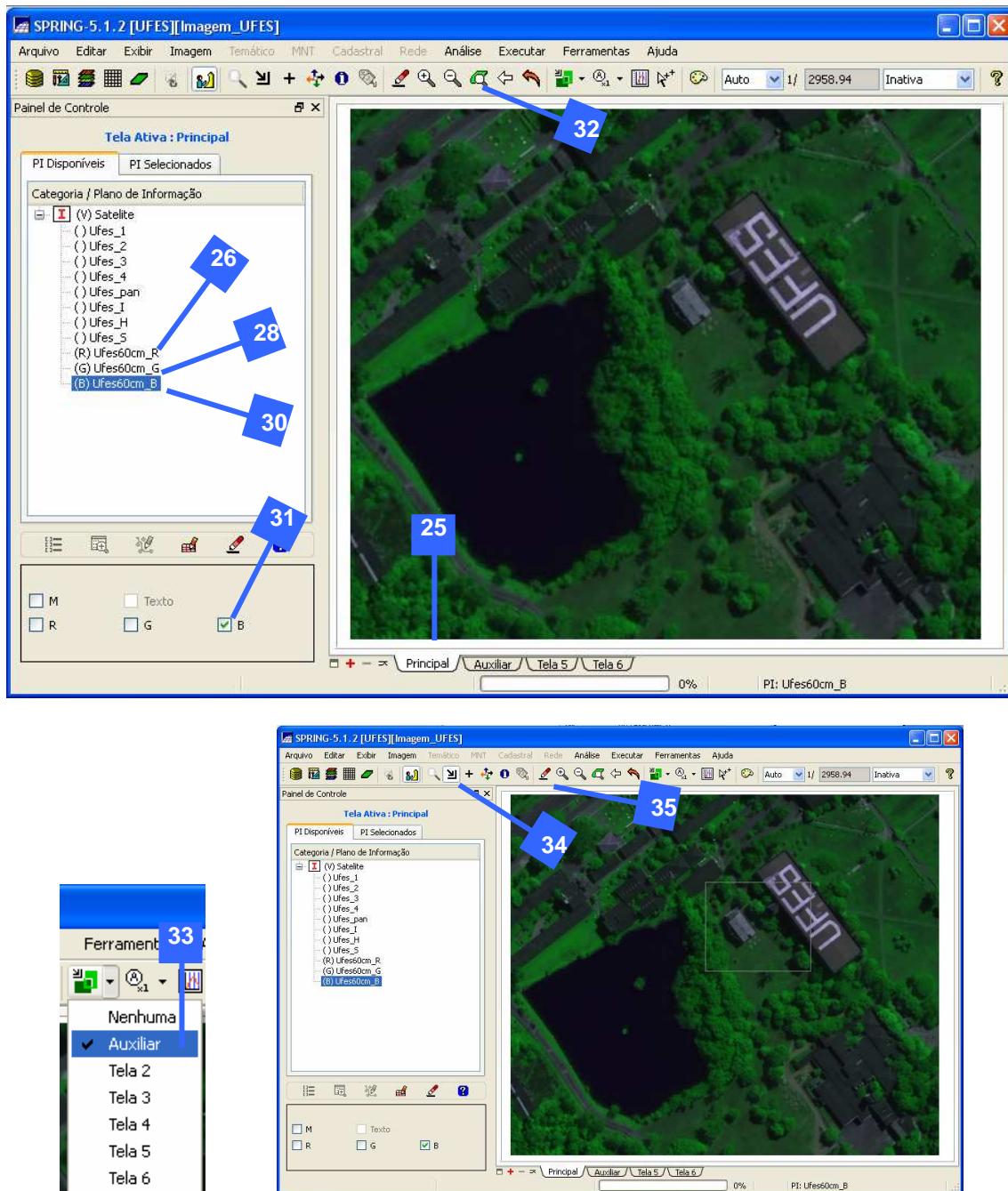
Imagens	Resolução espacial	Cor
Ufes60cm_B	0,6 m	B
Ufes60cm_G		G
Ufes60cm_R		R

25. Na parte inferior do Spring, clique na guia **Principal**.
26. No **Painel de controle**, selecione a imagem intitulada **Ufes60cm\_R**.
27. Na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **R** (vermelho).
28. Selecione a imagem intitulada **Ufes60cm\_G**.
29. Na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **G** (verde).
30. Selecione a imagem intitulada **Ufes60cm\_B**.
31. Na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **B** (azul).
32. Clique na ferramenta **ZOOM PI** .

Como demonstrado no capítulo 1, utilize a tela auxiliar para visualizar uma imagem em falsa-cor com as imagens antes da transformação IHS, ou seja:

Imagens	Resolução espacial	Cor
ufes_2	2,4 m	B
ufes_4		G
ufes_3		R

33. Com a tela **Principal** ativa, clique a na ferramenta **Acoplar**  e selecione a tela **Auxiliar**.
34. Utilize a ferramenta **Cursor de Área**  e arraste uma caixa ao redor da parte central (Biblioteca Central) da UFES.
35. Clique na ferramenta **Desenhar** .



A letra a da Figura 3.4 mostra a Biblioteca Central da UFES (tela principal) ampliada com a imagem falsa-cor oriunda da transformação IHS  $\leftrightarrow$  RGB com resolução espacial de 0,6 m com aplicação do realce de contraste linear. Já a letra b mostra a Biblioteca Central da UFES (tela auxiliar) ampliada com a imagem falsa-cor com resolução espacial de 2,4 m antes da transformação IHS->->-RGB com aplicação do realce de contraste linear.

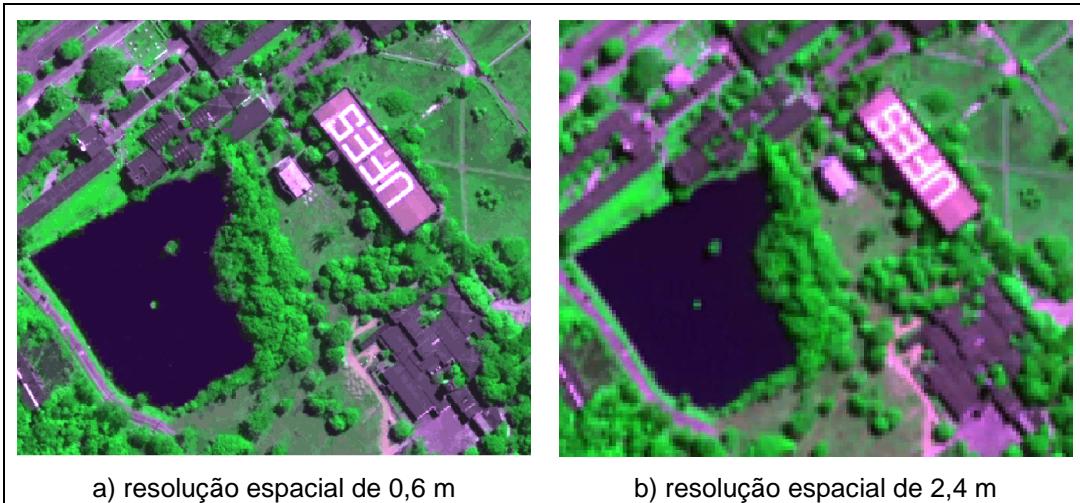


Figura 3.4. Ampliação de imagens em falsa-cor da área central da UFES (biblioteca central). a) resolução espacial de 0,6 m oriunda da transformação IHS <-> RGB e, b) resolução espacial de 2,4 m antes da transformação IHS <-> RGB.

A Figura 3.5 mostra algumas localizações dentro Campus da UFES Central, Vitória, ES.



Figura 3.5. Ampliação de uma imagem em falsa-cor (resolução de 0,6 m) oriunda de uma transformação IHS <-> RGB da área representativa do Campus Central da UFES, Vitória, ES.

**EXERCÍCIOS**

1. De posse das imagens do satélite QUICKBIRD disponibilizadas no Banco de Dados [UFES] e Projeto [Imagen\_UFES] execute uma transformação IHS <-> RGB visando elaborar uma composição colorida normal [bandas azul (B), verde (G) e vermelho (R)] com as seguintes imagens:

SATÉLITE QUICK BIRD (21/04/05)		
BANDAS ESPECTRAIS	INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA ( $\mu m$ )	FAIXA ESPECTRAL
ufes_1	0,45 – 0,52 (2,4 m)	Azul (B)
ufes_2	0,52 – 0,60 (2,4 m)	Verde (G)
ufes_3	0,63 – 0,69 (2,4 m)	Vermelho (R)
ufes_pan	0,45 - 0,90 (0,6 m)	Pancromática

Veja na Figura 3.6 abaixo o resultado da transformação IHS <-> RGB que você deverá alcançar.



Figura 3.6. Transformação IHS <-> RGB - Composição Normal – Bandas do azul, verde e vermelho.

2. Procure na literatura informações a respeito de outros métodos de transformação semelhantes ao IHS <-> RGB, discutindo suas modificações.

	<b>Filtragem de Imagens Digitais</b>	<b>04</b> <b>CAPÍTULO</b>
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------

Em função da grande quantidade de frequências numa imagem, sua interpretação fica comprometida quando se deseja analisar uma frequência específica, havendo a necessidade de aplicação de técnicas para melhorar a visualização da distribuição espacial, incluindo a mudança do valor do pixel, de tal forma que sejam selecionadas as feições de alta, média ou baixa frequência, mediante a utilização de filtros especiais.

Este capítulo tem por objetivo apresentar técnicas de filtragem espacial de frequências, de forma a facilitar na interpretação de imagens digitais.

#### **4.1 - FILTRAGEM DE IMAGENS**

Todas as imagens possuem limites entre áreas com diferentes respostas em relação à energia eletromagnética, como por exemplo, entre diferentes coberturas do terreno (solo, vegetação, rocha e outros), ou podem representar o contato entre áreas com diferentes condições de iluminação devido ao sombreamento topográfico.

Uma característica das imagens digitais é o parâmetro chamado frequência espacial, o qual é definido como o número de mudanças no valor de brilho por unidade de distância para qualquer parte da imagem. Quando se tem pouca variação no valor de brilho em áreas relativamente grandes, como é o caso de monoculturas, dizemos que esta é uma região de baixa frequência. E, quando ocorre uma grande variabilidade nos valores de brilho em áreas pequenas, dizemos que é uma região de alta frequência (limites de plantações, redes de transporte, estruturas geológicas, entre outros).

A enorme mistura de frequências em uma imagem dificulta a interpretação de feições com frequências específicas. Deste modo, para contornar esse problema e melhorar a aparência da distribuição espacial das informações, são utilizadas técnicas de FILTRAGEM espacial de frequências (transformações de imagem pixel a pixel), as quais realçam seletivamente as feições de alta, média ou baixa frequências que compõem as imagens de sensoriamento remoto.

As técnicas de filtragem são transformações da imagem pixel a pixel, que não dependem apenas do nível de cinza de um determinado pixel, mas também do valor dos níveis de cinza dos pixels vizinhos.

O processo de filtragem é feito utilizando matrizes denominadas máscaras, as quais são aplicadas sobre a imagem. A aplicação da máscara com centro na posição  $(i, j)$ , sendo  $i$  o número de uma dada linha e  $j$  o número de uma dada coluna sobre a imagem, consiste na substituição do valor do pixel na posição  $(i, j)$  por um novo valor que depende dos valores dos pixels vizinhos e dos pesos da máscara, gerando uma nova imagem com a eliminação das linhas e colunas iniciais e finais da imagem original. A cada posição da máscara, está associado um valor numérico, chamado de peso ou coeficiente. Em cada posição  $(i, j)$ , os pesos do filtro são multiplicados pelos níveis de cinza (NCs) dos pixels correspondentes e somados, resultando em um novo valor de NC, o qual substitui o antigo NC do pixel central.

As operações de filtragem podem ser divididas nas seguintes classes:

- Filtragem linear;
- Filtragem não-linear;
- Filtragem morfológica.

### ❖ FILTRAGEM LINEAR

Pode ser realizada no domínio do espaço através da operação de convolução e no domínio da frequência pela operação produto. Suavizam e realçam detalhes da imagem e minimizam efeitos de ruído, sem alterar a média da imagem. Alguns filtros são descritos a seguir.

- **Passa Baixa:** suaviza a imagem atenuando as altas frequências, que correspondem às transições abruptas. Tende a minimizar ruídos e apresenta o efeito de borramento da imagem. A Figura 4.1 mostra as máscaras dos filtros de Passa Baixa-Média 3x3, 5x5 e 7x7. Já a Figura 4.2 exibe uma comparação entre diferentes filtros de Passa Baixa-Média sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

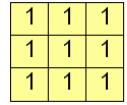
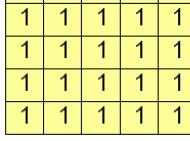
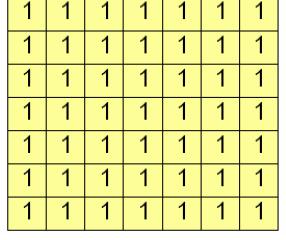
		
3 x 3	5 x 5	7 x 7

Figura 4.1. Máscaras dos filtros de Passa Baixa-Média 3x3, 5x5 e 7x7.

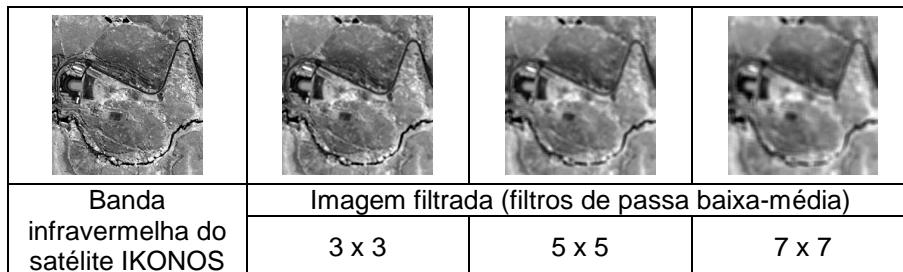


Figura 4.2. Comparação entre diferentes filtros Passa Baixa-Média sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

- **Passa Baixa de Média Ponderada:** são usados quando os pesos são definidos em função de sua distância do peso central. Neste filtro, o efeito da suavização é menor, pois o peso do pixel central é maior do que no filtro de média. A Figura 4.3 exibe dois exemplos de uma máscara 3x3 de um filtro de Passa Baixa Média Ponderada. Já a Figura 4.4 mostra uma aplicação do filtro de Passa Baixa Média Ponderada (3 x 3) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

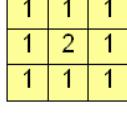
	
3 x 3	3 x 3

Figura 4.3 Máscaras dos filtros de Passa Baixa Média Ponderada 3x3.

Banda infravermelho do satélite IKONOS	Máscara utilizada	Imagen filtrada (Passa Baixa Média Ponderada 3 x 3)

Figura 4.4 Aplicação do filtro de passa baixa média ponderada (3 x 3) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

- **Passa Alta:** a filtragem Passa Alta realça detalhes, produzindo uma "agudização" ("sharpening") da imagem, isto é, as transições entre regiões diferentes tornam-se mais nítidas. Estes filtros podem ser usados para realçar certas características presentes na imagem, tais como bordas, linhas curvas ou manchas, mas enfatizam o ruído existente na imagem. Alguns exemplos destas máscaras são mostradas na Figura 4.5. Já a Figura 4.6 mostra uma aplicação do filtro de Passa Alta (3 x 3) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

--	--	--

Figura 4.5. Exemplos de máscaras de filtros de Passa Alta 3 x 3.

Banda infravermelho do satélite IKONOS	Máscara utilizada	Imagen filtrada (Passa Alta 3 x 3)

Figura 4.6. Aplicação do filtro de passa-alta (3 x 3) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

- **Filtros direcionais de realce de bordas:** os filtros de realce de bordas realçam a cena, segundo direções preferenciais de interesse, definidas pelas máscaras. Abaixo, estão algumas máscaras utilizadas para o realçamento de bordas em vários sentidos. O nome dado às máscaras indica a direção ortogonal preferencial em que será realçado o limite de borda. Assim, a máscara Norte realça limites horizontais. A Figura 4.7 mostra as principais máscaras direcionais de realce de bordas. Já a Figura 4.8 mostra uma aplicação do filtro direcional de realce de bordas Norte (3 x 3) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

Norte	Nordeste	Leste	Sudeste
Sul	Sudoeste	Oeste	Noroeste

Figura 4.7. Principais máscaras direcionais de realce de bordas.

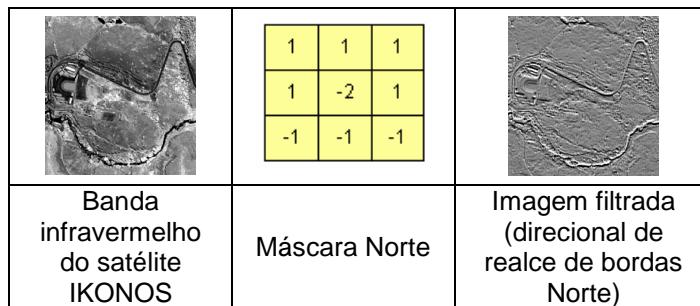


Figura 4.8. Aplicação do filtro direcional de realce de bordas Norte (3 x 3) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

- **Filtros não-direcionais de realces de bordas:** é utilizado para realçar bordas, independentemente da direção. As três máscaras mais comuns diferem quanto à intensidade de altos valores de níveis de cinza presentes na imagem resultante. A máscara alta deixa passar menos os baixos níveis de cinza, isto é, a imagem fica mais clara. A máscara baixa produz uma imagem mais escura que a anterior. A máscara média apresenta resultados intermediários. A Figura 4.9 mostra as principais máscaras não-direcionais de realce de bordas. Já a Figura 4.10 mostra uma aplicação do filtro não direcional de bordas baixa (3 x 3) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

Baixa	Média	Alta

Figura 4.9. Exemplos de máscaras de filtros não-direcionais de realce de bordas.

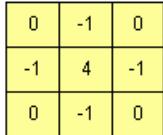
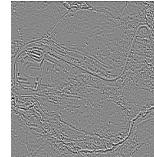
	 <table border="1" data-bbox="706 206 869 341"> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>4</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td></tr> </table>	0	-1	0	-1	4	-1	0	-1	0	
0	-1	0									
-1	4	-1									
0	-1	0									
Banda infravermelho do satélite IKONOS	Máscara Baixa	Imagen filtrada (não-direcional de realce de bordas baixa)									

Figura 4.10. Aplicação do filtro não-direcional de realce de bordas baixa ( $3 \times 3$ ) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

- **Filtros de realce de imagens:** utiliza máscaras apropriadas ao realce de características de imagens obtidas por um sensor específico. Para imagens TM/LANDSAT o realce compensa distorções radiométricas do sensor. O pixel que terá seu valor de nível de cinza substituído pela aplicação da máscara corresponde à posição sombreada. A Figura 4.11 mostra a máscara utilizada para realçar imagens LANDSAT. Já a Figura 4.12 mostra uma aplicação do filtro da imagem LANDSAT sobre a banda infravermelho (b4\_300501) do satélite LANDSAT representativa do município de Alegre, ES.

3	-7	-7	3
-7	-7	13	-7
-7	13	13	-7
3	-7	-7	3

Figura 4.11. Máscara de realce para imagens do satélite TM/LANDSAT.

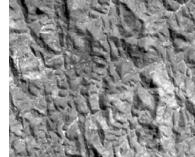
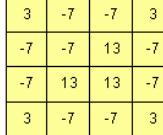
	 <table border="1" data-bbox="695 1156 858 1291"> <tr><td>3</td><td>-7</td><td>-7</td><td>3</td></tr> <tr><td>-7</td><td>-7</td><td>13</td><td>-7</td></tr> <tr><td>-7</td><td>13</td><td>13</td><td>-7</td></tr> <tr><td>3</td><td>-7</td><td>-7</td><td>3</td></tr> </table>	3	-7	-7	3	-7	-7	13	-7	-7	13	13	-7	3	-7	-7	3	
3	-7	-7	3															
-7	-7	13	-7															
-7	13	13	-7															
3	-7	-7	3															
Banda infravermelho do satélite TM/LANDSAT	Máscara TM/LANDSAT	Imagen filtrada (filtroTM/LANDSAT)																

Figura 4.12. Aplicação do filtro de realce para imagens do satélite TM/LANDSAT ( $4 \times 4$ ) sobre a banda infravermelho do satélite TM/LANDSAT representativa do município de Alegre, ES.

#### ❖ **FILTROS NÃO-LINEARES**

Têm o objetivo de minimizar e realçar ruídos e suavizar e realçar bordas, alterando a média da imagem. Os principais filtros são:

- **Filtros para detecção de bordas:** detecta características, como bordas, linhas, curvas e manchas, sendo os mais comuns os operadores de Roberts e Sobel.
- a) **Operador de Roberts:** apresenta a desvantagem de certas bordas serem mais realçadas do que outras dependendo da direção, mesmo com magnitude igual. Como resultado de sua aplicação, obtém-se uma imagem com altos valores de nível de cinza, em regiões de limites bem definidos e valores baixos em regiões de limites suaves, sendo 0 (zero) para regiões de nível de cinza constante. A Figura 4.13 mostra a máscara representativa do operador de Roberts.

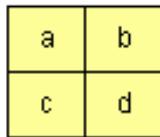


Figura 4.13. Máscara representativa do operador de Roberts.

O operador consiste na seguinte função:

$$(a') = (a - d)^2 + (c - b)^2$$

Em que,

$a'$ : nível de cinza correspondente à localização a ser substituído;  
 $a, b, c, d$ : localizações cujos valores serão computados para a operação.

A Figura 4.14 mostra uma aplicação da filtragem não-linear para detecção de bordas utilizando o operador de Roberts sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

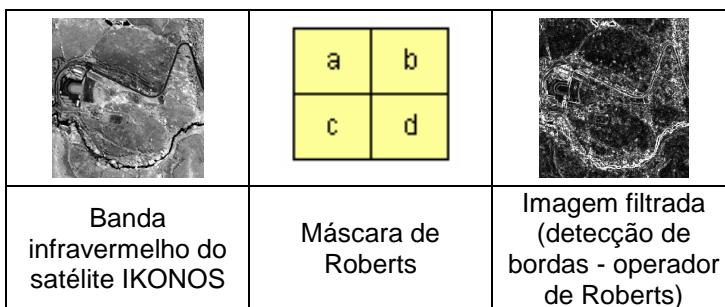


Figura 4.14. Aplicação da filtragem não linear para detecção de bordas utilizando o operador de Roberts sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

- b) Operador de Sobel: realça linhas verticais e horizontais mais escuras que o fundo, sem realçar pontos isolados. Consiste na aplicação de duas máscaras, descritas na Figura 4.15, que compõem um resultado único.

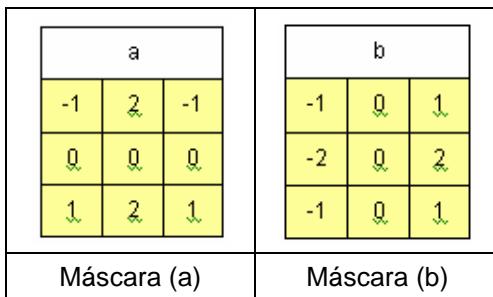


Figura 4.15. Máscaras do operador de Sobel.

A máscara (a) detecta as variações no sentido horizontal e a máscara (b), no sentido vertical. O resultado desta aplicação, em cada pixel, é dado por:

$$a' = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Em que,

$a'$ : valor de nível de cinza correspondente à localização do elemento central da máscara.

A Figura 4.16 mostra uma aplicação da filtragem não-linear para detecção de bordas utilizando o operador de Sobel sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

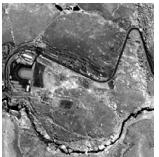
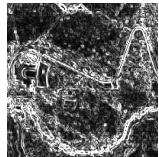
	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td colspan="3">a</td></tr> <tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr> </table> <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td colspan="3">b</td></tr> <tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>-2</td><td>0</td><td>2</td></tr> <tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	a			-1	2	-1	0	0	0	1	2	1	b			-1	0	1	-2	0	2	-1	0	1	
a																										
-1	2	-1																								
0	0	0																								
1	2	1																								
b																										
-1	0	1																								
-2	0	2																								
-1	0	1																								
Banda infravermelho do satélite IKONOS	Máscaras de Sobel	Imagen filtrada (detecção de bordas - operador de Sobel)																								

Figura 4.16. Aplicação da filtragem não-linear para detecção de bordas utilizando o operador de Sobel sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

- **Filtros morfológicos:** exploram as propriedades geométricas dos sinais (níveis de cinza da imagem). Para filtros morfológicos, as máscaras são denominadas elementos estruturantes e apresentam valores 0 ou 1 na matriz que correspondem ao pixel considerado. Os filtros morfológicos básicos são: da mediana, erosão e dilatação.

- a) Filtro Morfológico de Mediana: é utilizado para suavização e eliminação de ruído e mantém a dimensão da imagem. A Figura 4.17 mostra um exemplo deste tipo de filtro.

Elemento estruturante	Imagen de satélite
0 1 0 1 1 1 0 1 0	3 6 5 2 8 3 2 6 5
0 1 0 1 1 1 0 1 0	3 6 5 2 8 3 2 6 5
0 1 0 1 1 1 0 1 0	3 6 5 2 8 3 2 6 5

Figura 4.17. Exemplo para aplicação dos filtros morfológicos.

O pixel central será alterado para o valor 6 [valor mediano na ordenação (2,3,6,6,8)].

A Figura 4.18 mostra uma aplicação da filtragem não-linear morfológica de mediana sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

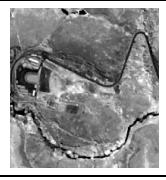
	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td colspan="3">Elemento estruturante</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	Elemento estruturante			0	1	0	1	1	1	0	1	0	
Elemento estruturante														
0	1	0												
1	1	1												
0	1	0												
Banda infravermelho do satélite IKONOS	Máscara de mediana M+	Imagen filtrada (filtro de mediana)												

Figura 4.18. Aplicação da filtragem não-linear morfológica de mediana sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

- b) **Filtro Morfológico-Erosão:** provoca efeitos de erosão das partes claras da imagem (altos níveis de cinza), gerando imagens mais escuras. Considerando o exemplo mostrado na Figura 4.17, o valor a ser substituído no pixel central corresponde ao menor valor da ordenação, que é igual a 2.

A Figura 4.19 mostra uma aplicação da filtragem não-linear Morfológico-Erosão sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.



Figura 4.19. Aplicação da filtragem não-linear Morfológico-Erosão sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

- c) **Filtro Morfológico-Dilatação:** provoca efeitos de dilatação das partes escuas da imagem (baixos níveis de cinza), gerando imagens mais claras. Considerando o exemplo mostrado na Figura 4.17, o valor resultante da aplicação deste filtro é o maior valor na ordenação, que é igual a 8.

A Figura 4.20 mostra uma aplicação da filtragem não-linear Morfológico-Dilatação sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.



Figura 4.20. Aplicação da filtragem não-linear Morfológico-Dilatação sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

A Figura 4.21 mostra algumas máscaras comumente utilizadas para filtros morfológicos.

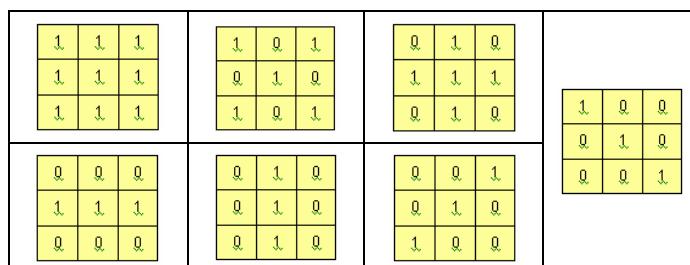


Figura 4.21. Máscaras comumente utilizadas para filtros morfológicos.

É possível realizar a abertura ou fechamento de uma imagem por meio do encadeamento de filtros de erosão e dilatação com o mesmo elemento estruturante. Veja os exemplos abaixo:

- a) Abertura de uma imagem: é obtida pelo encadeamento do filtro de erosão, seguido pelo de dilatação, conforme mostrado na Figura 4.22. Observe, nesta figura, que após o encadeamento das filtragens (erosão seguida de dilatação), algumas áreas, localizadas nas proximidades do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES, apresentam áreas que foram abertas quando comparadas com a imagem original.

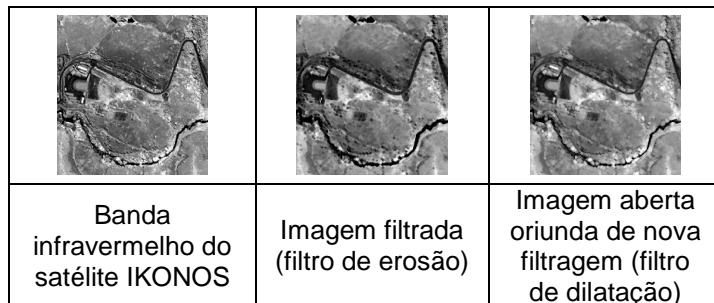


Figura 4.22. Abertura de uma imagem: aplicação encadeamento de filtros (erosão seguido de dilatação) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

- b) Fechamento de uma imagem: é obtido pelo encadeamento do filtro de dilatação, seguido pelo de erosão, conforme mostrado na Figura 4.23. Observe, nesta figura, que após o encadeamento das filtragens (dilatação seguida de erosão), algumas áreas, localizadas nas proximidades do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES, apresentam áreas que foram fechadas quando comparadas com a imagem original.

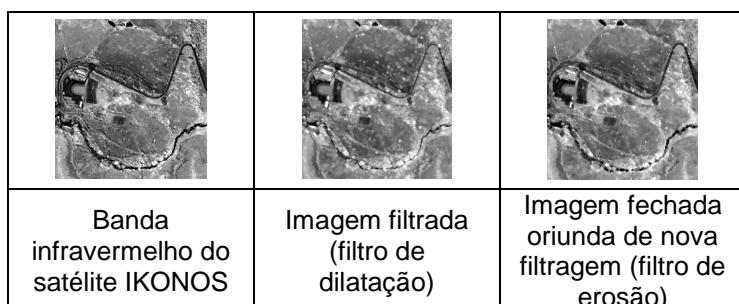


Figura 4.23. Fechamento de uma imagem: aplicação encadeamento de filtros (dilatação seguido de erosão) sobre a banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

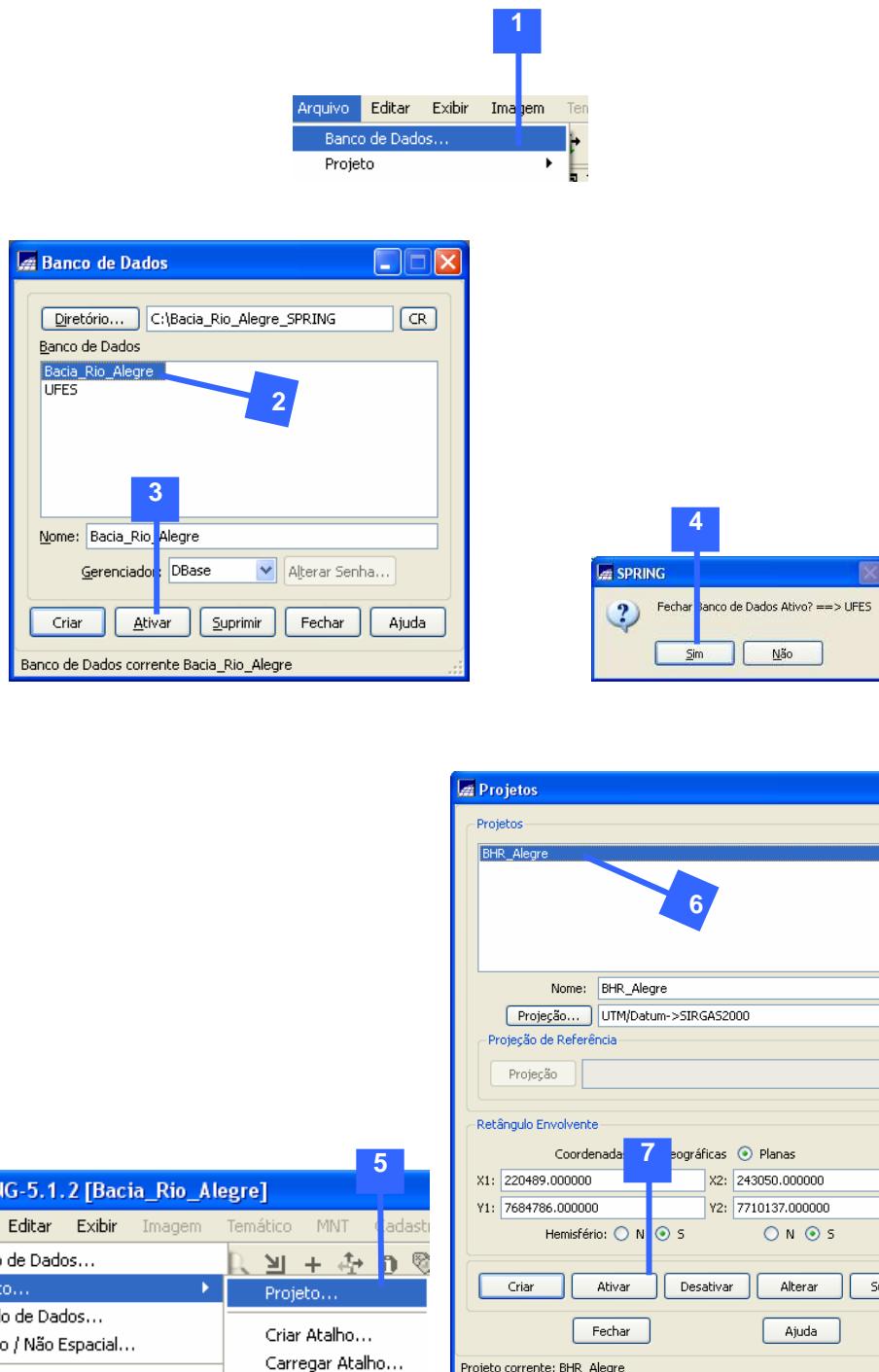
Agora que você assimilou conceitos teóricos sobre as técnicas de filtragem, serão demonstradas algumas aplicações práticas no SPRING 5.1.2.

#### ❖ **ATIVAÇÃO DE UM NOVO BANCO DE DADOS NO SPRING**

As técnicas de filtragem serão desenvolvidas sobre imagens do satélite IKONOS do quadrante representativo da cidade de Alegre, ES. Para tanto, deve-se ativar o projeto intitulado **Bacia\_Rio\_Alegre** da seguinte maneira:

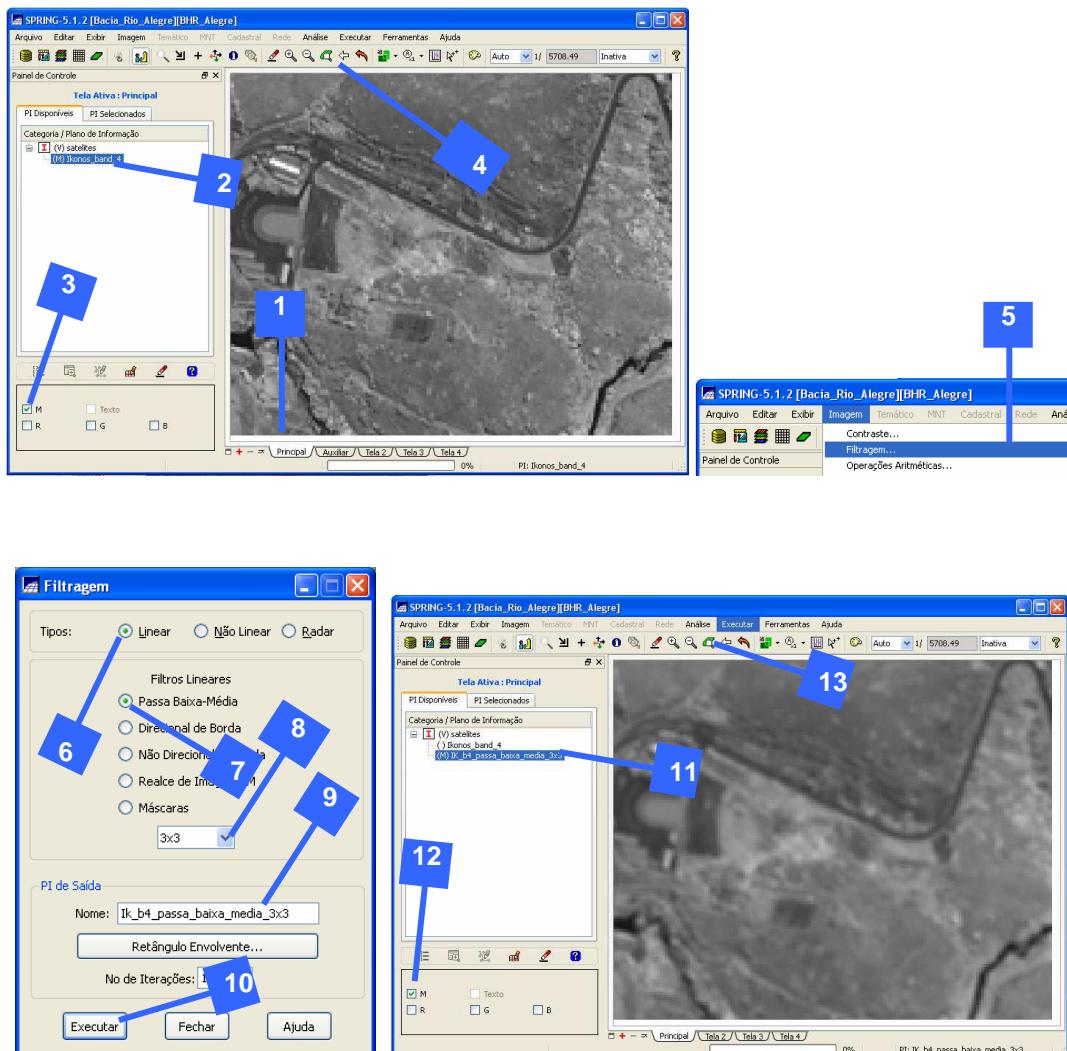
1. No menu **Arquivo**, clique na opção **Banco de Dados**.

2. Na caixa de diálogo **Banco de Dados**, selecione o banco de dados **Bacia\_Rio\_Alegre**.
3. Clique no botão **Ativar**.
4. Na caixa de mensagem **SPRING**, clique no botão **Sim** para fechar o banco de dados ativo denominado UFES.
5. No menu **Arquivo**, aponte para opção **Projeto** e clique em **Projeto...**.
6. Selecione o projeto **BRH\_Alegre**.
7. Clique no botão **Ativar**.



### ❖ APLICAÇÃO DO FILTRO LINEAR DE PASSA BAIXA-MÉDIA 3 X 3

1. No SPRING, selecione a guia **Principal**.
2. No **Painel de Controle**, selecione a banda infravermelho do satélite IKONOS intitulada **Ikonom\_band\_4**.
3. Selecione a paleta de cor **M** (monocromática).
4. Clique na ferramenta **Zoom PI**.
5. No menu **Imagen**, clique na opção **Filtragem**.
6. Na caixa de diálogo **Filtragem**, selecione o tipo de filtragem **Linear**.
7. Selecione o filtro linear **Passa Baixa-Média**.
8. Selecione a máscara **3x3**.
9. Na caixa de entrada **Nome**, digite o nome **Ik\_b4\_passa\_baixa\_media\_3x3**.
10. Clique no botão **Executar**.
11. No **Painel de Controle**, selecione a imagem filtrada denominada **Ik\_b4\_passa\_baixa\_media\_3x3**.
12. Selecione a paleta de cor **M** (monocromática).
13. Clique na ferramenta **Zoom PI**.



Abaixo (Figura 4.24), é observada a imagem representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES, antes e após a aplicação do filtro de Passa Baixa-Média (3x3) seguida da aplicação da técnica de realce de contraste linear.

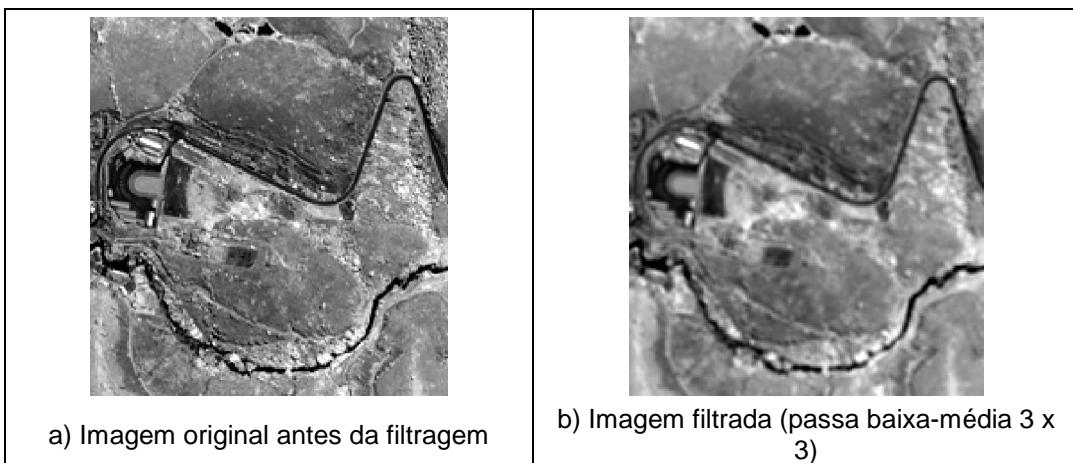


Figura 4.24. Banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES, antes (a) e após (b) a aplicação do filtro de Passa Baixa-Média 3 x 3.

❖ **ANÁLISE MATEMÁTICA DA IMAGEM FILTRADA PELO FILTRO DE PASSA BAIXA-MÉDIA 3x3**

Neste tópico será demonstrada uma análise matemática objetivando comprovar o valor do pixel central de uma área localizada na nova imagem filtrada pelo **Filtro de Passa Baixa-Média 3 x 3**. Caso seja necessário, apenas acompanhe visualmente, passo a passo, os cálculos abaixo. O pixel a ser testado (imagem denominada **Ikonos\_band\_4**) apresenta as coordenadas geográficas mostradas nas Figura 4.25 e 4.26.

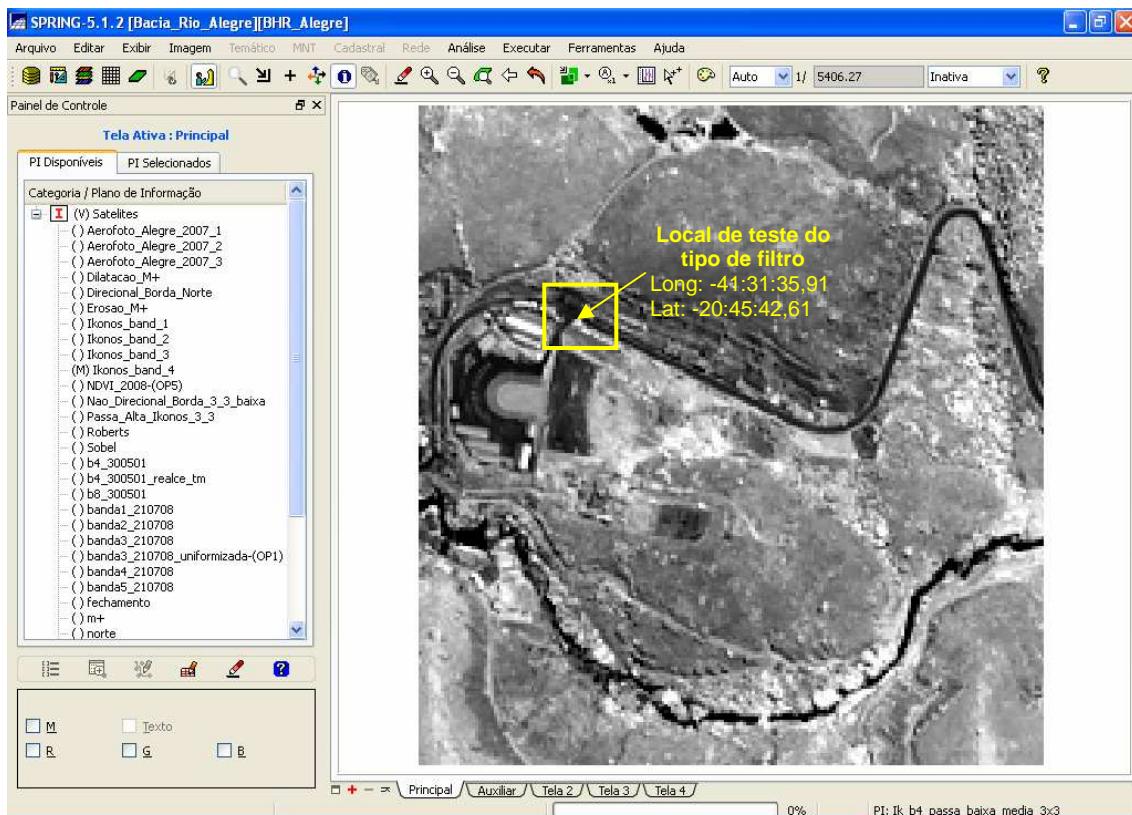


Figura 4.25. Coordenadas geográficas do pixel a ser testado após a filtragem de Passa Baixa-Média.

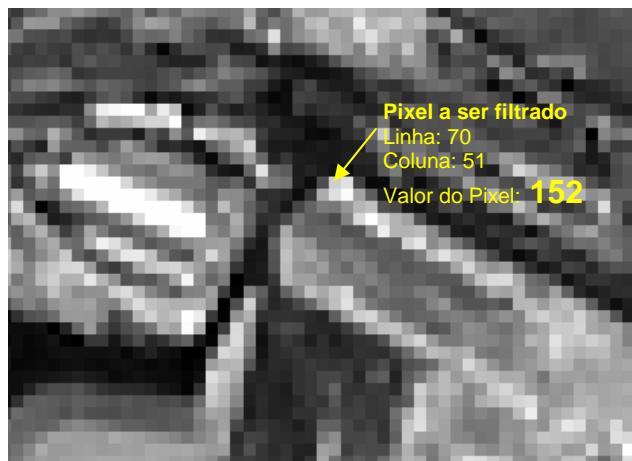


Figura 4.26. Características do pixel a ser filtrado.

Após a aplicação do filtro de passa baixa-média, utilizou-se a ferramenta **Cursor de info** do SPRING para determinar os valores nos níveis de cinza dos pixels vizinhos e central da máscara da imagem de origem e da imagem filtrada (Figura 4.27).

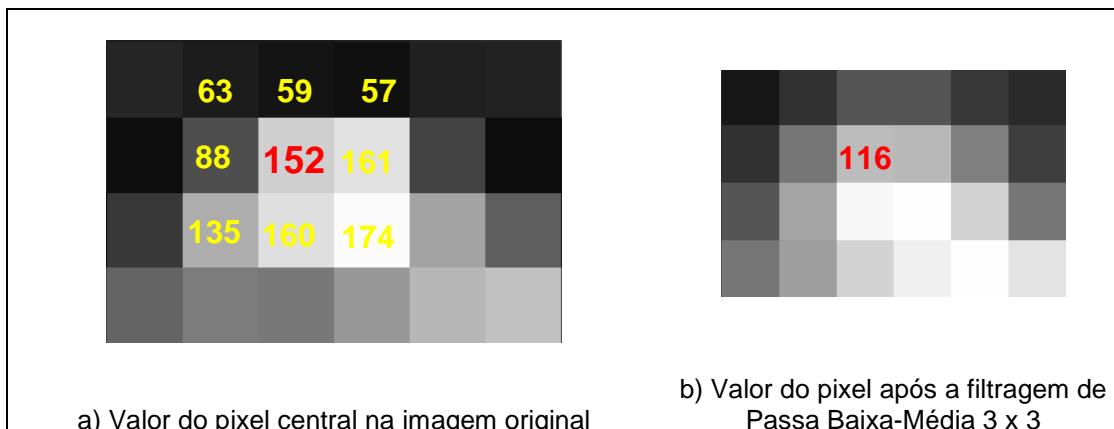


Figura 4.27. Valores nos níveis de cinza dos pixels vizinhos e central: a) máscara da imagem de origem e b) da imagem filtrada.

Abaixo é apresentado um esquema contendo as seguintes informações (Figura 4.28): a) Máscara do Filtro de Passa Baixa-Média 3 x 3, b) Valor do pixel central na imagem original e c) Valor do pixel após a filtragem de Passa Baixa-Média 3 x 3.

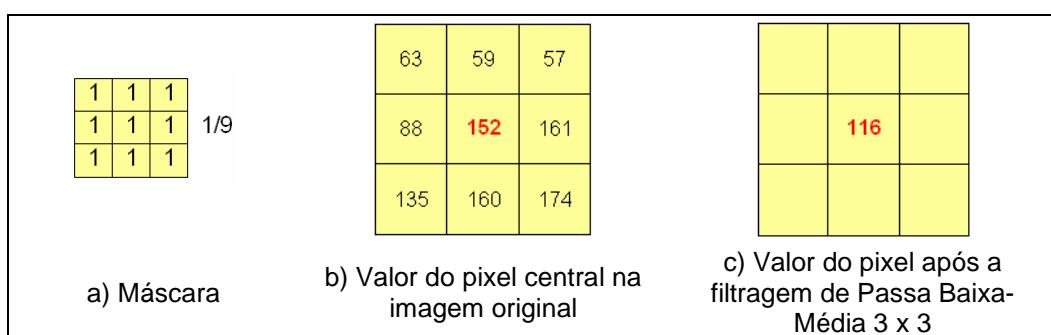


Figura 4.28. Representação da máscara do Filtro de Passa Baixa-Média 3 x 3, valores dos níveis de cinza da imagem original e imagem filtrada.  
Objetivando comprovar que, realmente, o valor do pixel central da imagem filtrada equivale a 116, basta executar os cálculos sugeridos abaixo:

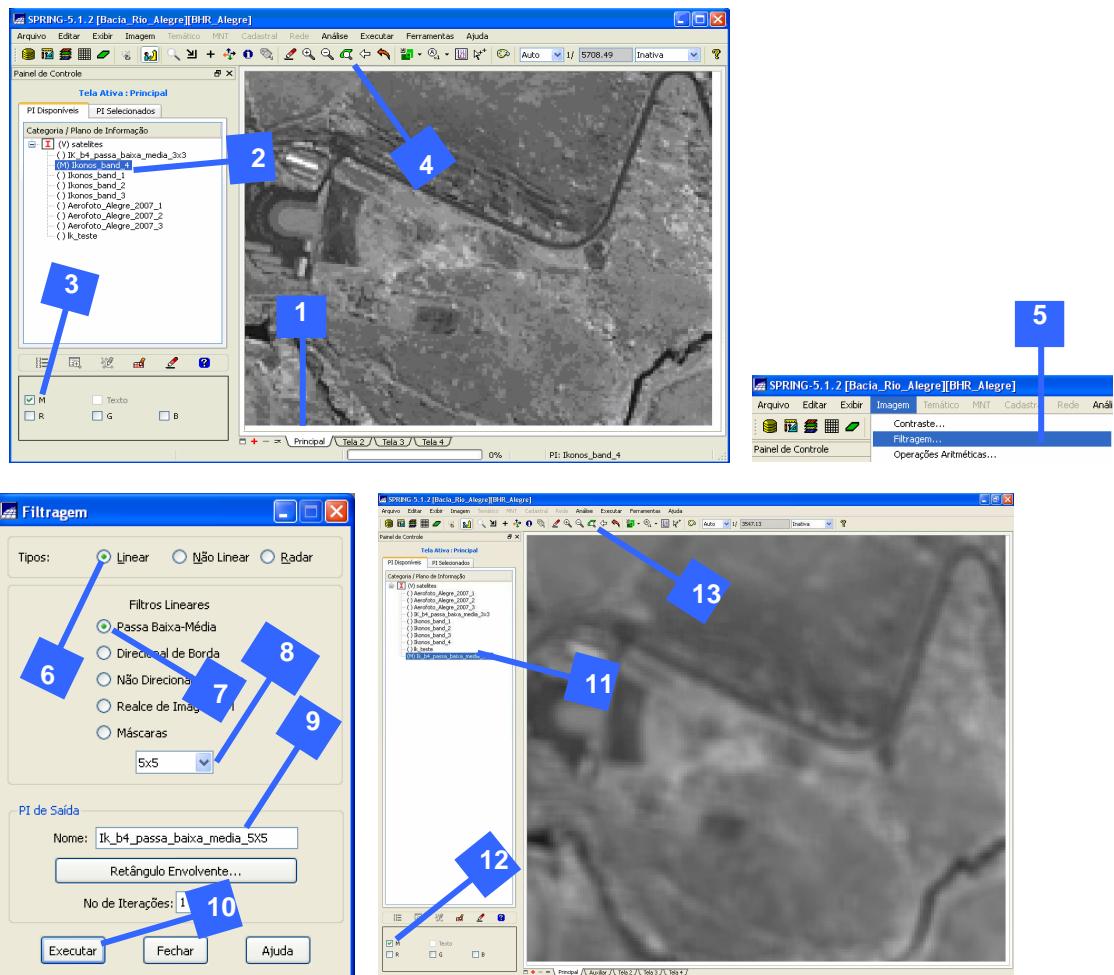
$$\text{Valor do novo pixel} = \frac{(63 \times 1) + (59 \times 1) + (57 \times 1) + (88 \times 1) + (152 \times 1) + (161 \times 1) + (135 \times 1) + (160 \times 1) + (174 \times 1)}{9}$$

$$\text{Valor do novo pixel} = \frac{1049}{9}$$

$$\text{Valor do novo pixel} = 117$$

#### ❖ APLICAÇÃO DO FILTRO LINEAR DE PASSA BAIXA-MÉDIA 5 X 5

1. No SPRING, selecione a guia **Principal**.
2. No **Painel de Controle**, selecione a banda infravermelho do satélite IKONOS intitulada **Ikonomos\_band\_4**.
3. Selecione a paleta de cor **M** (monocromática).
4. Clique na ferramenta **Zoom PI** .
5. No menu **Imagen**, clique na opção **Filtragem**.
6. Na caixa de diálogo **Filtragem**, selecione o tipo de filtragem **Linear**.
7. Selecione o filtro linear **Passa Baixa-Média**.
8. Selecione a máscara **5x5**.
9. Na caixa de entrada **Nome**, digite o nome **Ik\_b4\_passa\_baixa\_media\_5x5**.
10. Clique no botão **Executar**.
11. No **Painel de Controle**, selecione a imagem filtrada denominada **Ik\_b4\_passa\_baixa\_media\_5x5**.
12. Selecione a paleta de cor **M** (monocromática).
13. Clique na ferramenta **Zoom PI** .



Abaixo (Figura 4.29), é observada a parte representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES, antes e após a aplicação do filtro de Passa Baixa-Média 5 x 5, seguida da aplicação da técnica de realce de contraste linear.

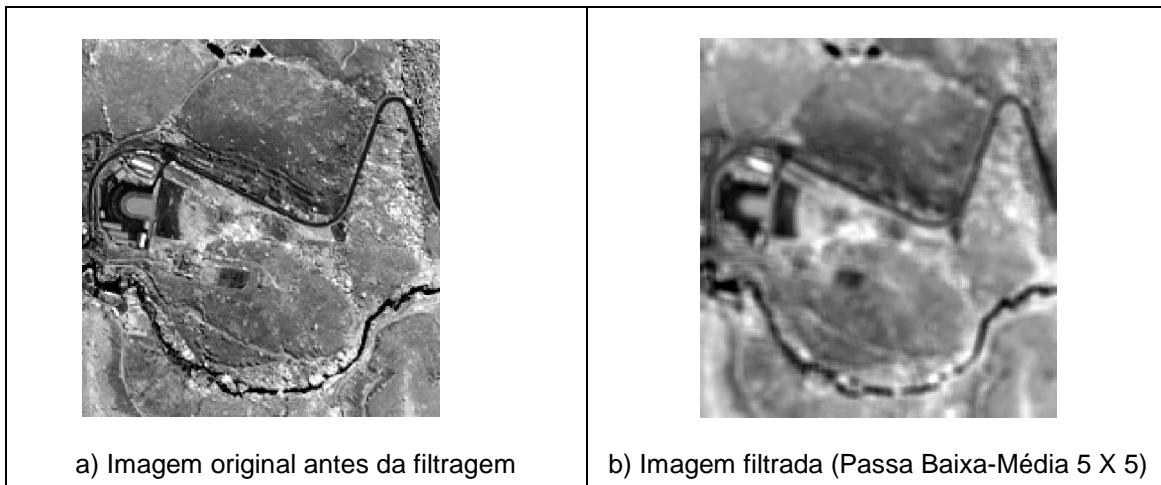
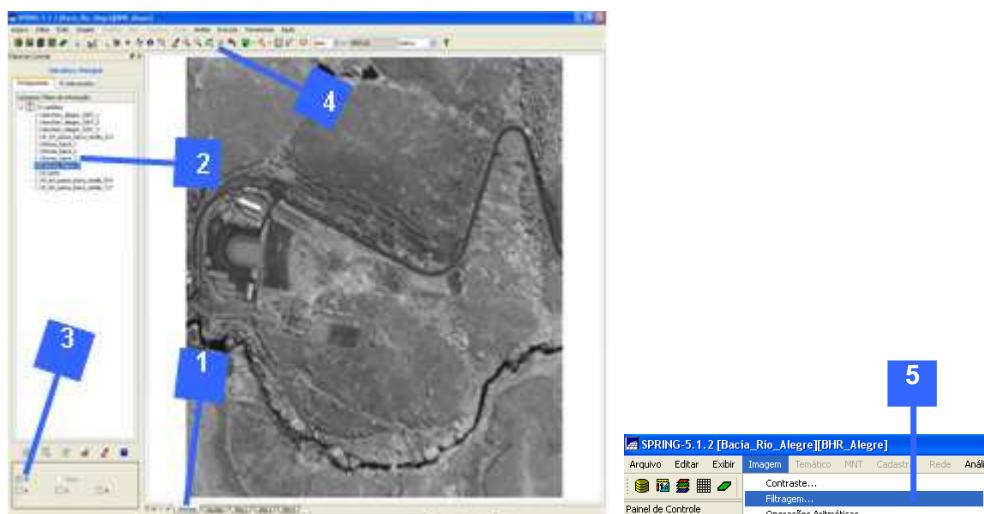
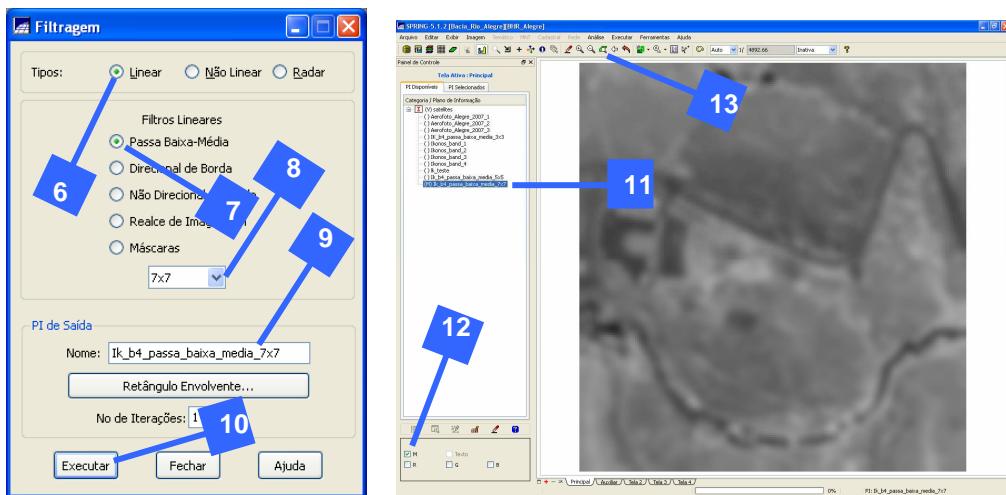


Figura 4.29. Banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES, antes (a) e após (b) a aplicação do Filtro de Passa Baixa-Média 5 x 5.

❖ **APLICAÇÃO DO FILTRO LINEAR DE PASSA BAIXA-MÉDIA 7 X 7**

1. No SPRING, selecione a guia **Principal**.
2. No **Painel de Controle**, selecione a banda infravermelho do satélite IKONOS intitulada **Ikonos\_band\_4**.
3. Selecione a paleta de cor **M** (monocromática).
4. Clique na ferramenta **Zoom PI**.
5. No menu **Imagen**, clique na opção **Filtragem**.
6. Na caixa de diálogo **Filtragem**, selecione o tipo de filtragem **Linear**.
7. Selecione o filtro linear **Passa Baixa-Média**.
8. Selecione a máscara **7x7**.
9. Na caixa de entrada **Nome**, digite o nome **Ik\_b4\_passa\_baixa\_media\_7x7**.
10. Clique no botão **Executar**.
11. No **Painel de Controle**, selecione a imagem filtrada denominada **Ik\_b4\_passa\_baixa\_media\_7x7**.
12. Selecione a paleta de cor **M** (monocromática).
13. Clique na ferramenta **Zoom PI**.





Abaixo (Figura 4.30), é observada a parte representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES, antes e após a aplicação do filtro de Passa Baixa-Média (7 x 7), seguida da aplicação da técnica de realce de contraste linear.

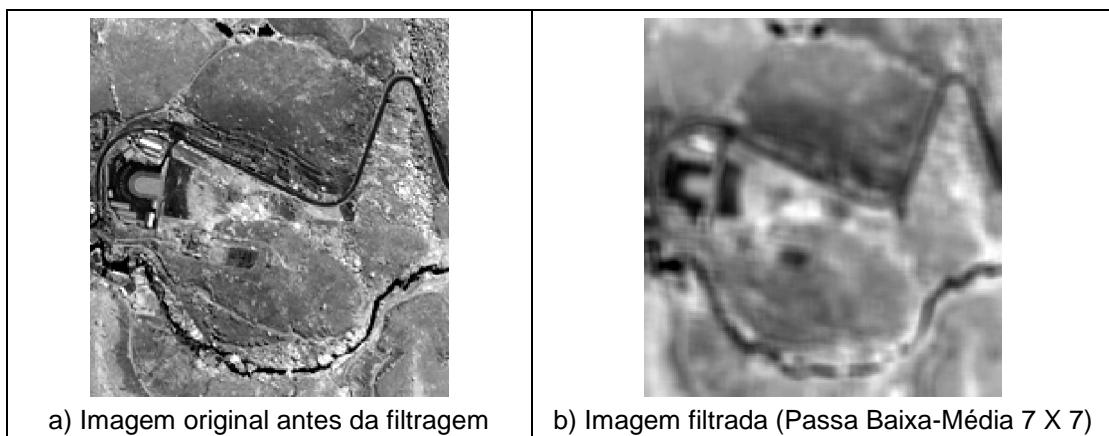


Figura 4.30. Banda infravermelho do satélite IKONOS representativa do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES, antes (a) e após (b) a aplicação do filtro de Passa Baixa-Média (7 x 7).

## EXERCÍCIOS

1. Utilizando o SPRING, de posse do banco de dados **[Bacia\_Rio\_Alegre]** e do projeto **[BHR\_Alegre]**, aplique os seguintes filtros sobre a imagem **Ikonos\_band\_4**.
  - a) Linear: Direcional de Borda.
  - b) Linear: Não Direcional de Borda.
  - c) Não-linear: Detecção de Bordas.
  - d) Não-linear: Morfológico-Dilatação.
  - e) Não-linear: Mediana.
  - f) Não-linear: Morfológico-Erosão.

Obs: Considerar todas as máscaras para cada tipo de filtro.



## Operações Aritméticas entre Imagens

**05**  
**CAPÍTULO**

Este capítulo tem por objetivo apresentar o potencial do SPRING 5.1.2 para a realização de operações aritméticas do tipo: soma, subtração, multiplicação e divisão.

As operações aritméticas são operações "pixel" a "pixel" entre imagens de bandas diferentes, através de uma regra matemática definida, tendo como resultado uma banda representando a combinação das bandas originais.

Em geral, a operação de adição é utilizada para realçar a similaridade entre bandas ou diferentes imagens; e a subtração, a multiplicação e a divisão, para realçar as diferenças espetrais.

As atividades executadas neste capítulo serão:

- Normalização radiométrica de imagens do satélite CBERS para o quadrante representativo da bacia hidrográfica do Rio Alegre, ES.

### **5.1 NORMALIZAÇÃO RADIOMÉTRICA DE IMAGENS DO SATÉLITE CBERS PARA O QUADRANTE REPRESENTATIVO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALEGRE, ES**

Durante a aquisição de dados pelos sensores orbitais, existem vários fatores que causam as distorções radiométricas das imagens; tais como, a diferença das condições atmosféricas, iluminação, ângulos de visada, entre outros. Para determinadas aplicações, a correção destas distorções é um processo indispensável. Por outro lado, em muitas situações, o processo de correção radiométrica não é uma tarefa fácil, principalmente, quando o procedimento envolve o conhecimento dos fatores que causam tais distorções que nem sempre estão disponíveis.

Em função disso, na análise multitemporal, vários autores utilizam a normalização (ou retificação) radiométrica ao invés de correção radiométrica. Normalizar, radiometricamente, duas imagens de datas distintas tem como objetivo compatibilizar as amplitudes dos níveis de cinza dos elementos de imagem em cada banda espectral de uma série multitemporal de imagens. Este processo será denominado doravante de *retificação radiométrica*, o qual inicia com a eleição de uma das imagens temporais como imagem de REFERÊNCIA e as outras imagens como imagem de AJUSTE. Geralmente, essa técnica consiste em determinar os coeficientes de uma transformação linear, que aplicada à imagem de ajuste, efetua a retificação desejada.

Neste tópico, será utilizado o método de UNIFORMIZAÇÃO DAS MÉDIAS E VARIÂNCIAS (UMV) sobre as seguintes imagens do satélite CBERS para o quadrante representativo da bacia hidrográfica do Rio Alegre, ES:

- a) banda4\_210708 (infravermelho) – IMAGEM DE REFERÊNCIA.
- b) banda3\_210708 (vermelho) – IMAGEM DE AJUSTE.

#### **❖ MÉTODO DE UNIFORMIZAÇÃO DAS MÉDIAS E VARIÂNCIAS (UMV)**

Este método, consiste em igualar as médias e variâncias de duas imagens, através de uma transformação linear. Para isto, são calculados os parâmetros (ganho e offset) da função que

## Capítulo 5 – Operações Aritméticas entre Imagens

quando aplicada à imagem de ajuste, a imagem resultante tenha a mesma média e variância da imagem de referência.

O cálculo do ganho e offset são baseados na função de transformação  $f(x) = ax + b$ , ou seja:

$$\mu R = ganho \cdot M_S + offset$$

e

$$\sigma_R^2 = ganho^2 \cdot \sigma_s^2$$

O que pode ser reescrito da seguinte forma:

$$ganho = \sqrt{\frac{\sigma_R^2}{\sigma_s^2}}$$

e

$$offset = \mu R - \sqrt{\frac{\sigma_R^2}{\sigma_s^2}} \cdot \mu S$$

Em que,

$\sigma_R^2$ : variância da imagem de referência;

$\sigma_s^2$ : variância da imagem de ajuste;

$\mu R$ : média da imagem de referência;

$\mu S$ : média da imagem de ajuste.

Para a imagem resultante  $S'$  temos então:

$$S' = S \cdot ganho + offset$$

Em que,

$S'$ : imagem uniformizada;

$S$ : imagem de ajuste.

Para visualizar outros métodos de normalização radiométrica, basta consultar o seguinte trabalho:

- Comparação do desempenho de algoritmos de normalização radiométrica de imagens de satélite (Anais do XI SBSR) disponibilizado no seguinte endereço eletrônico (Figura 5.1):  
[http://marte.dpi.inpe.br/col/Itid.inpe.br/sbsr/2002/11.14.16.57/doc/15\\_204.pdf](http://marte.dpi.inpe.br/col/Itid.inpe.br/sbsr/2002/11.14.16.57/doc/15_204.pdf)

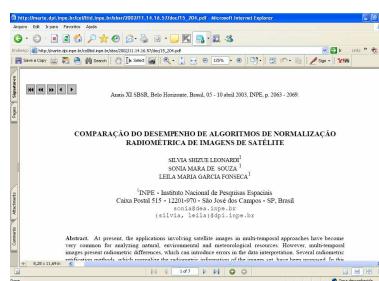


Figura 5.1. Trabalho publicado no XI SBSR.

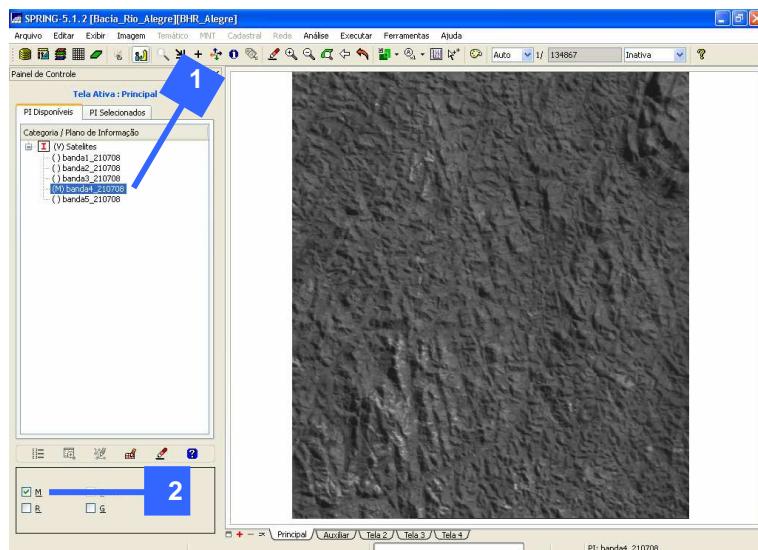
Após a apresentação do método de uniformização das médias e variâncias (UMV), você já está pronto para iniciar uma aplicação prática no SPRING 5.1.2.

### ❖ **COLETA DAS INFORMAÇÕES ESTATÍSTICAS DA IMAGEM DE REFERÊNCIA**

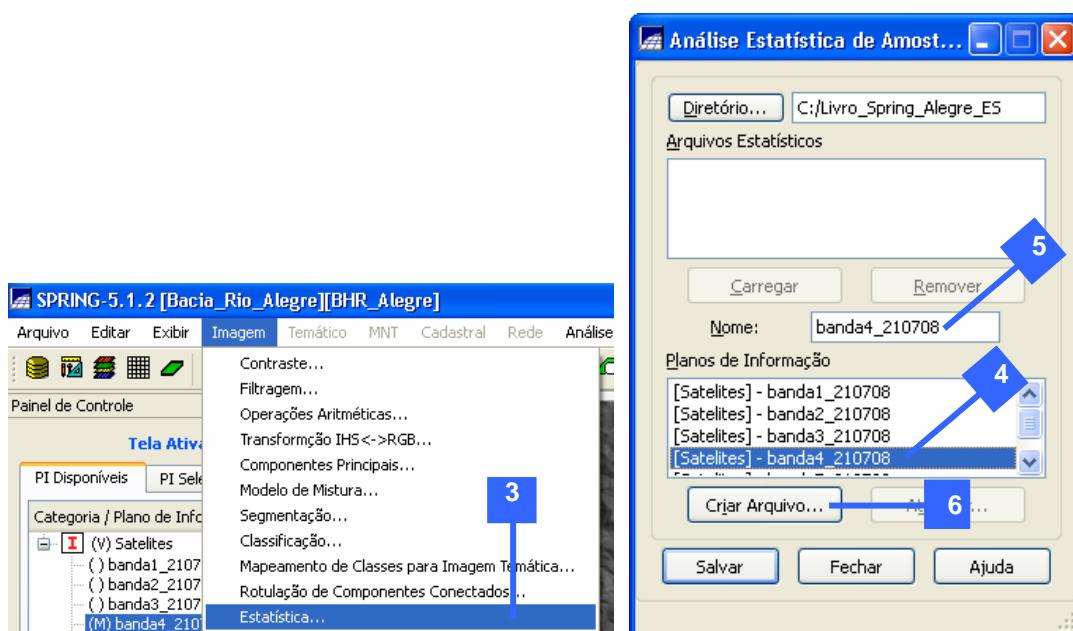
Inicialmente, você irá coletar os valores referentes à média e a variância da imagem de referência intitulada banda4\_210708.

Antes de seguir as etapas abaixo, ative o Banco de Dados [Bacia\_Rio\_Alegre] e o Projeto [BHR\_Alegre].

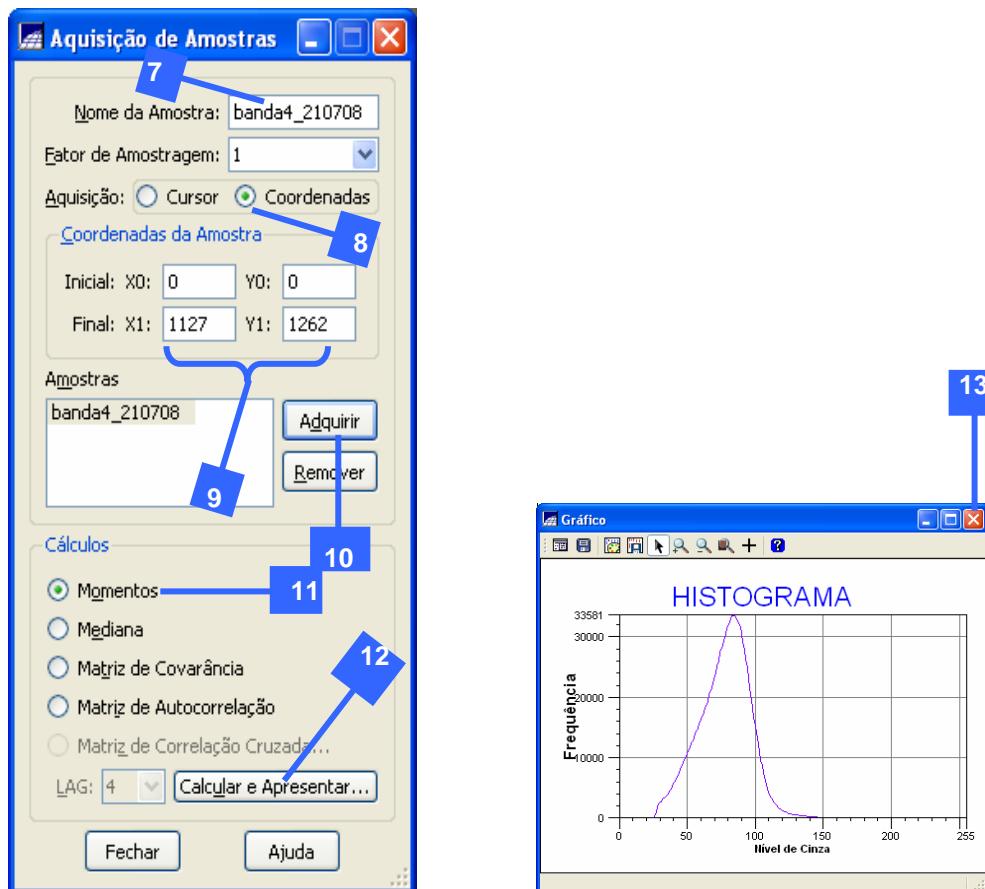
8. No **Painel de Controle**, selecione a imagem denominada **banda4\_210708**.
9. Selecione a paleta de cor **M** (monocromática).



10. No menu **Imagen**, clique na opção **Estatística**.
11. Selecione a imagem **banda4\_210708**.
12. Na caixa de entrada **Nome**, digite **banda4\_210708**.
13. Clique no botão **Criar Arquivo**.



14. Na caixa de diálogo **Aquisição de Amostras**, digite **banda4\_210708** na caixa de entrada **Nome da Amostra**.
15. Marque a opção **Coordenadas**.
16. Nas caixas de entrada **X0**, **Y0**, **X1** e **Y1**, digite os valores **0**, **0**, **1127** e **1262**, respectivamente.
17. Clique no botão **Adquirir**.
18. Marque a opção **Momentos**.
19. Clique no botão **Calcular e Apresentar**.
20. Após visualizar o **Gráfico**, clique no botão **Fechar**.



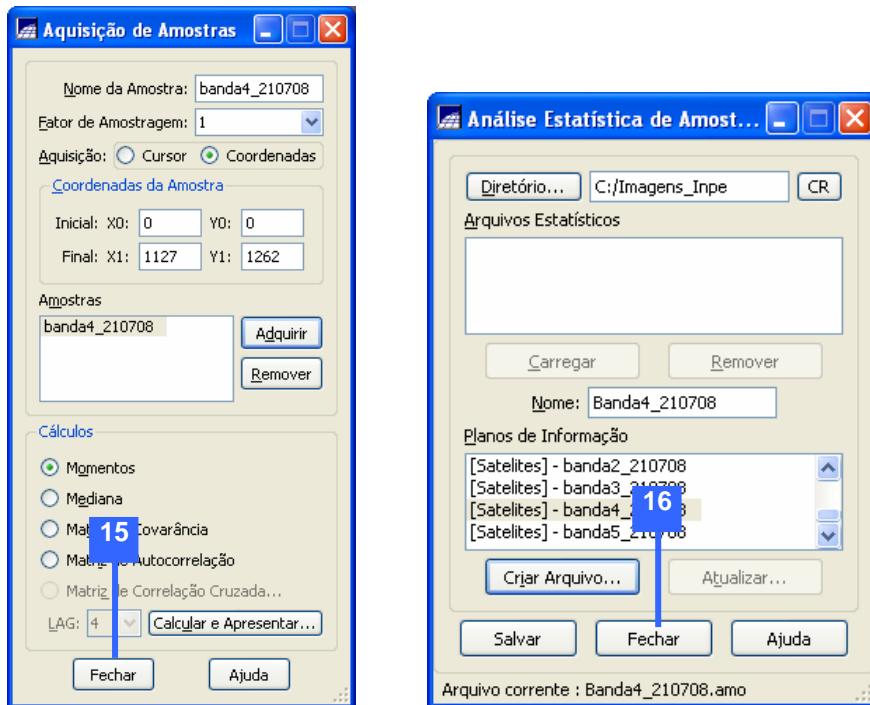
Na caixa de diálogo **Estatísticas de Amostras**, veja os seguintes resultados:

- **Média: 77,37.**
- **Variância: 353,79.**

21. Na caixa de diálogo **Estatística de Amostras**, clique no botão **Fechar**.



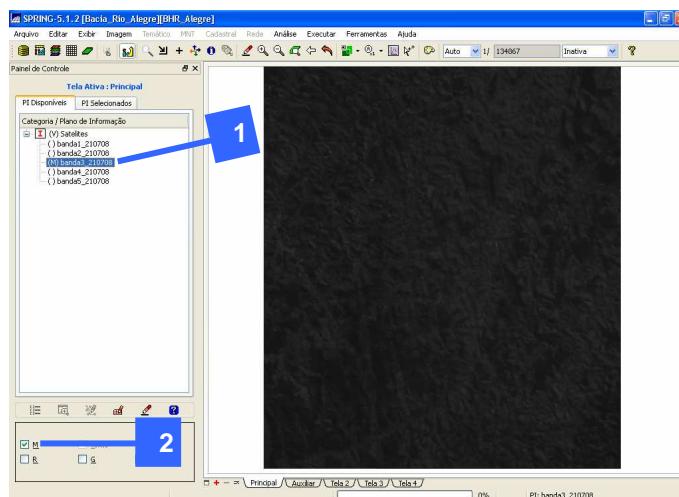
22. Na caixa de diálogo **Aquisição de Amostras**, clique no botão **Fechar**.
23. Na caixa de diálogo **Análise Estatística de Amostras**, clique no botão **Fechar**.



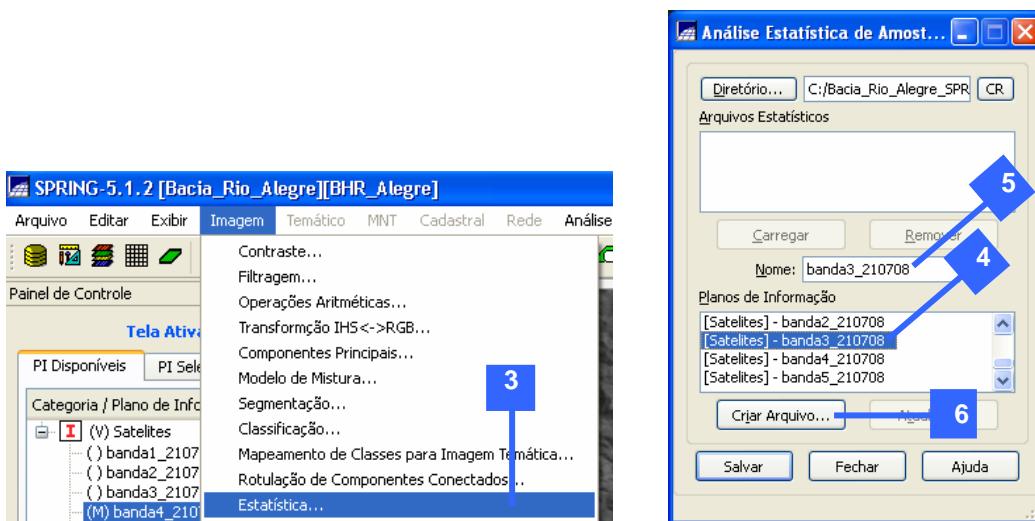
#### ❖ COLETA DAS INFORMAÇÕES ESTATÍSTICAS DA IMAGEM DE AJUSTE

Agora, você irá coletar os valores referentes à média e à variância da imagem de ajuste intitulada banda3\_210708.

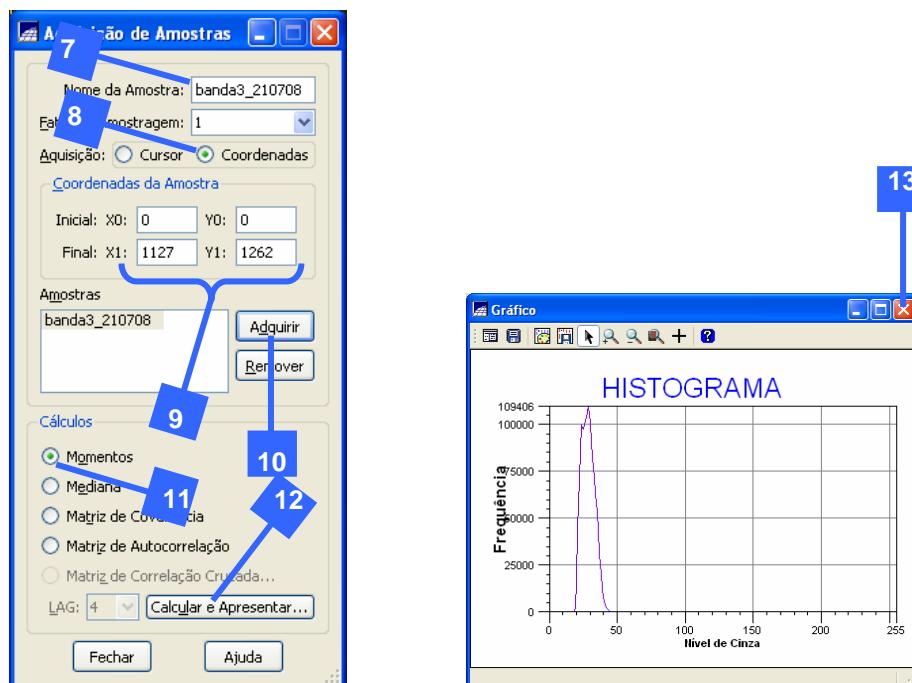
1. No **Painel de Controle**, selecione a imagem denominada **banda3\_210708**.
2. Selecione a paleta de cor **M** (monocromática).



3. No menu **Imagen**, clique na opção **Estatística**.
4. Selecione a imagem **banda3\_210708**.
5. Na caixa de entrada **Nome**, digite **banda3\_210708**.
6. Clique no botão **Criar Arquivo**.



7. Na caixa de entrada **Nome da Amostra**, digite **banda3\_210708**.
8. Marque a opção **Coordenadas**.
9. Nas caixas de entrada **X0**, **Y0**, **X1** e **Y1**, digite os valores **0**, **0**, **1127** e **1262**, respectivamente.
10. Clique no botão **Adquirir**.
11. Marque a opção **Momento**.
12. Clique no botão **Calcular e Apresentar**.
13. Após visualizar o **Gráfico**, clique no botão **Fechar**.



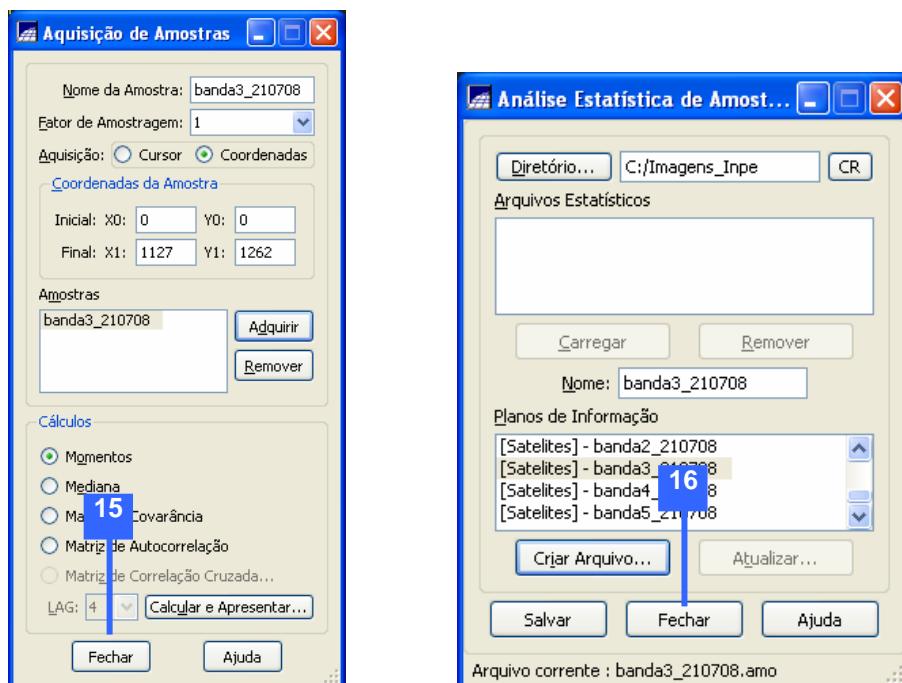
Na caixa de diálogo **Estatísticas de Amostras**, veja os seguintes resultados:

- **Média: 28,64.**
- **Variância: 22,64.**

14. Na caixa de diálogo **Estatística de Amostras**, clique no botão **Fechar**.



15. Na caixa de diálogo **Aquisição de Amostras**, clique no botão **Fechar**.
16. Na caixa de diálogo **Análise Estatística de Amostras**, clique no botão **Fechar**.



Após as consultas estatísticas anteriores, têm-se os seguintes resultados:

IMAGEM	MÉDIA	VARIÂNCIA
REFERÊNCIA	77,37	353,79
AJUSTE	28,64	22,38

#### ❖ DETERMINAÇÃO DO GANHO E DO OFFSET

De posse dos valores de média e variância das imagens de referência e ajuste, você irá determinar os valores do GANHO e OFFSET, utilizando as equações a seguir:

$$ganho = \sqrt{\frac{\sigma_R^2}{\sigma_s^2}} = \sqrt{\frac{353,79}{22,38}}$$

$$ganho = 3,976$$

e

$$offset = \mu R - \sqrt{\frac{\sigma_R^2}{\sigma_s^2}} \cdot \mu S = 77,37 - 3,976 \cdot 28,64$$

$$offset = -36,503$$

#### ❖ UNIFORMIZAÇÃO DAS MÉDIAS E VARIÂNCIAS DA IMAGEM DE AJUSTE (UMV)

De posse dos valores de GANHO e OFFSET, a imagem banda3\_210708 (imagem de ajuste) será uniformizada utilizando a seguinte equação:

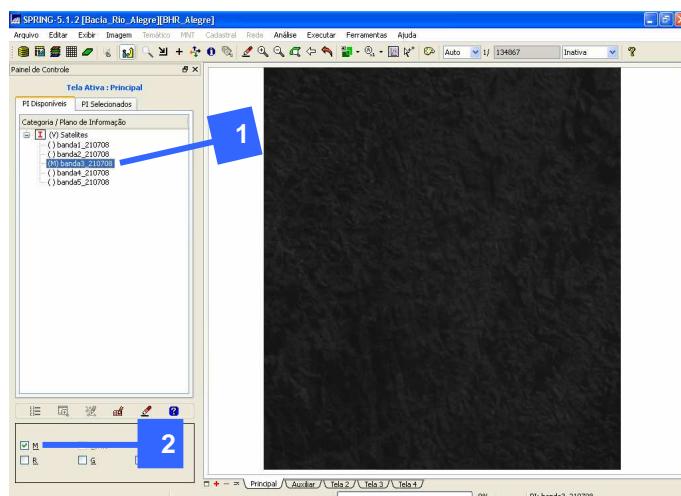
$$S' = S \cdot ganho + offset$$

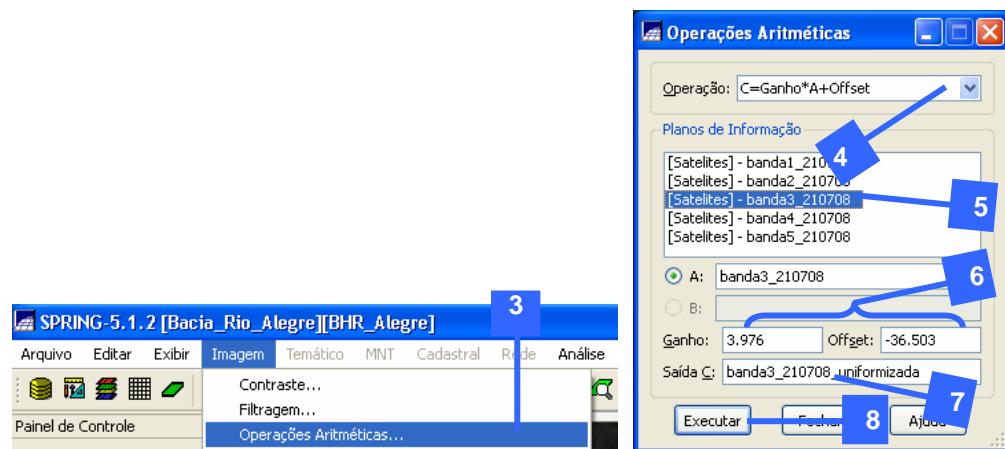
Em que,

S': imagem uniformizada.

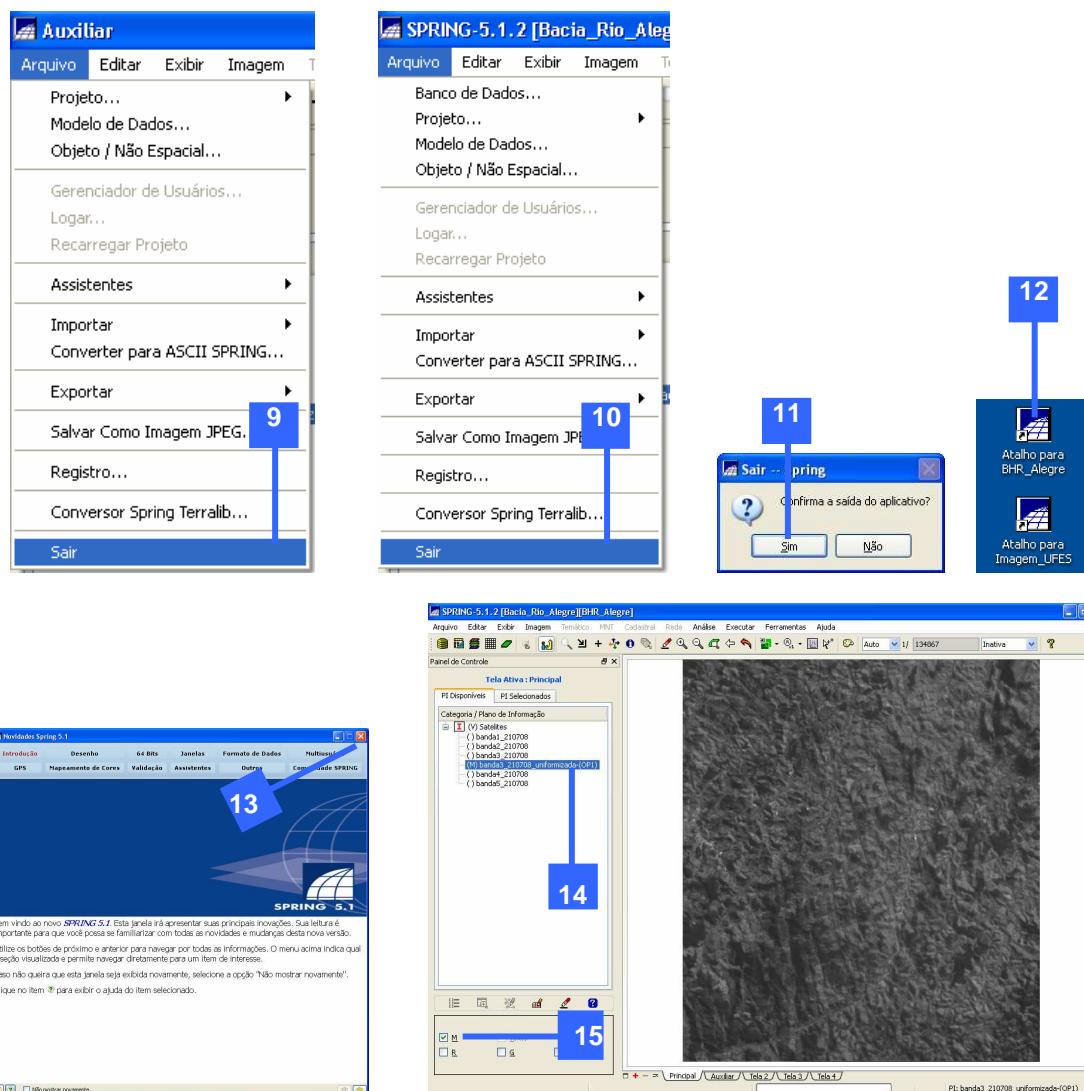
S: imagem de ajuste.

1. No **Painel de Controle**, selecione a imagem denominada **banda3\_210708**.
2. Selecione a paleta de cor **M** (monocromática).
3. No menu **Imagen**, clique na opção **Operações Aritméticas**.
4. Na caixa de diálogo **Operações Aritméticas**, no dropdown da opção **Operação** selecione **C=Ganho\*A+Offset**.
5. Selecione **banda3\_210708**.
6. Para as caixas de entrada **Ganho** e **Offset**, entre com os valores de **3.976** e **-36.503**, respectivamente.
7. Para a caixa de entrada **Saída C**, entre com o nome **banda3\_210708\_uniformizada**.
8. Clique no botão **Executar**.

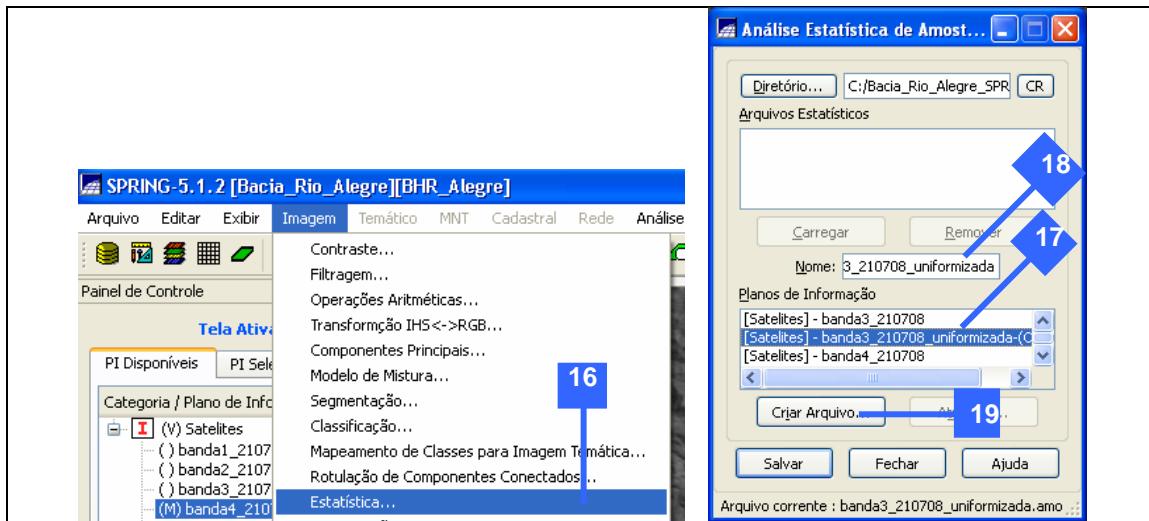




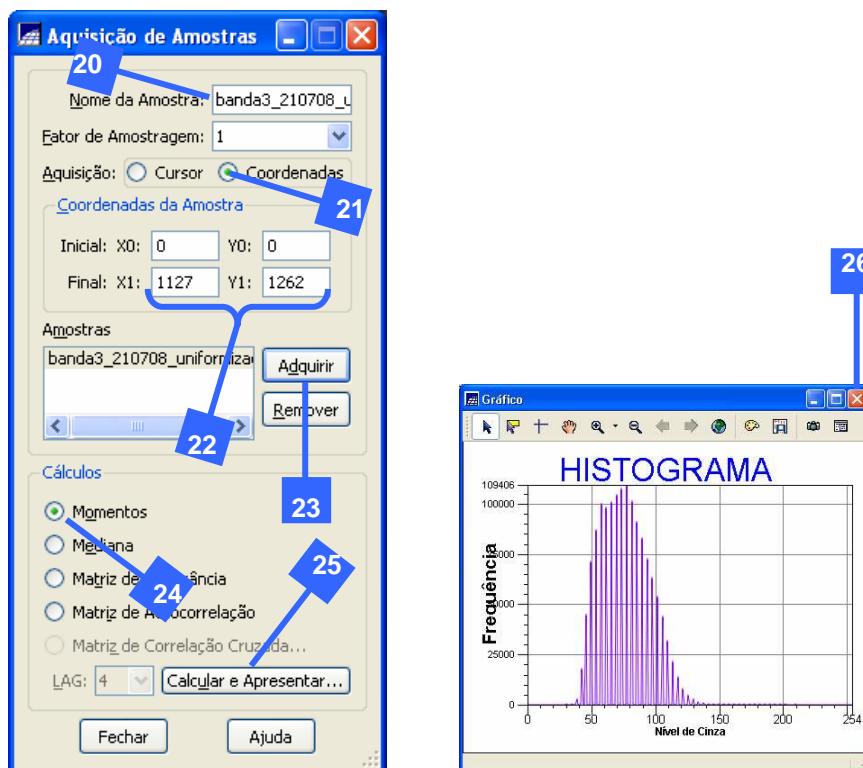
9. Na tela Auxiliar, aponte para Arquivo e clique em Sair.
10. No SPRING 5.1.2, aponte para Arquivo e clique em Sair.
11. Na caixa de Sair - Spring, clique no botão Sim.
12. Na área de trabalho do Windows, dê um clique duplo em Atalho para BHR\_Alegre.
13. Feche a janela Novidades do Spring 5.1.2.
14. No Painel de Controle, selecione a imagem denominada banda3\_210708\_uniformizada-(OP1).
15. Selecione a paleta de cor M (monocromática).



16. No menu **Imagen**, clique na opção **Estatística**.
17. Selecione a imagem **banda3\_210708\_uniformizada-(OP1)**.
18. Na caixa de entrada **Nome**, digite **banda3\_210708\_uniformizada-(OP1)**.
19. Clique no botão **Criar Arquivo**.



20. Na caixa de entrada **Nome da Amostra**, digite **banda3\_210708\_uniformizada-(OP1)**.
21. Marque a opção **Coordenadas**.
22. Nas caixas de entrada **X0**, **Y0**, **X1** e **Y1**, digite os valores **0**, **0**, **1127** e **1262**, respectivamente.
23. Clique no botão **Adquirir**.
24. Marque a opção **Momentos**.
25. Clique no botão **Calcular e Apresentar**.
26. Após visualizar o **Gráfico**, clique no botão **Fechar**.

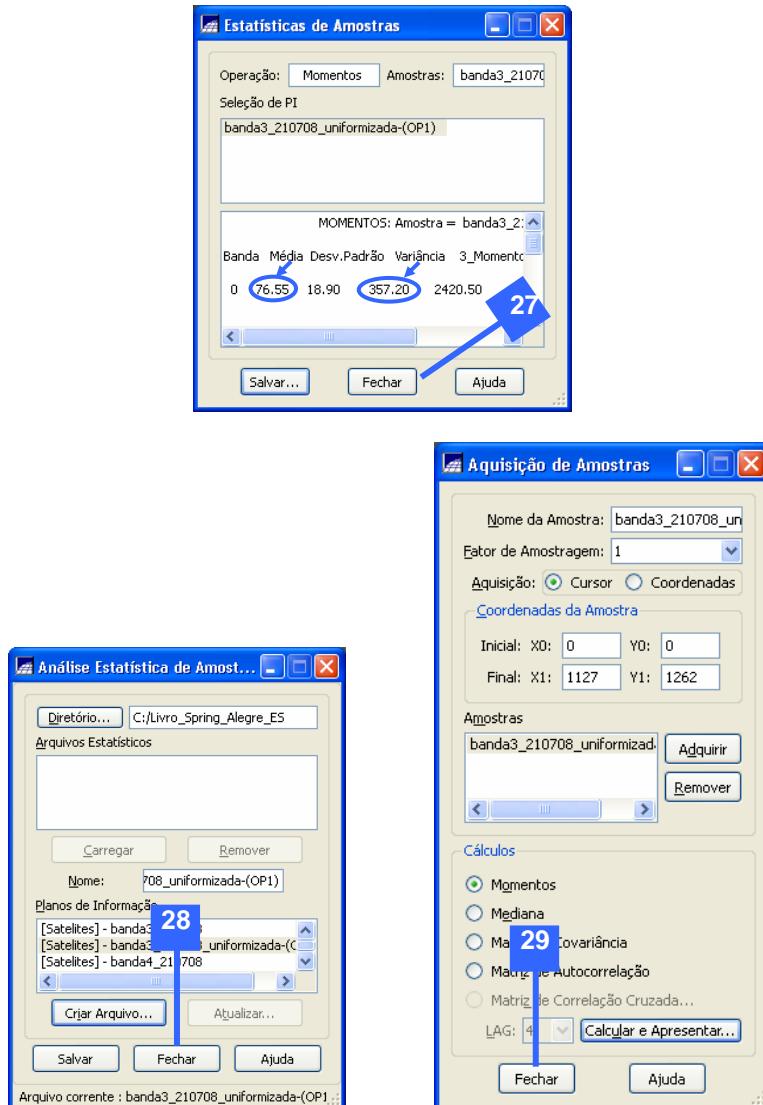


Na caixa de diálogo **Estatísticas de Amostras**, veja os seguintes resultados:

- **Média: 76,55.**

➤ **Variância: 357,20.**

27. Na caixa de diálogo **Estatística de Amostras**, clique no botão **Fechar**.
28. Na caixa de diálogo **Aquisição de Amostras**, clique no botão **Fechar**.
29. Na caixa de diálogo **Análise Estatística de Amostras**, clique no botão **Fechar**.



**COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS E VARIÂNCIAS DAS IMAGENS DE REFERÊNCIA, AJUSTE E NORMALIZADA**

A Tabela 5.1 mostra o resumo das operações que envolveram a aplicação do método de uniformização das médias e variâncias (UMV).

**Tabela 5.1** Comparação dos valores de média e variância das imagens de referência, ajuste e normalizada.

IMAGEM	MÉDIA	VARIÂNCIA
REFERÊNCIA	77,37	353,79
AJUSTE	28,64	22,38
NORMALIZADA	76,55	357,20

**Conclusão:** de acordo com os resultados da Tabela 5.1, os valores de média e variância das imagens de referência e normalizada estão próximos estatisticamente.

A Figura 5.2 mostra uma comparação entre as imagens de referência, ajuste e normalizada. Observa-se que, após a aplicação do método de uniformização das médias e variâncias (UMV), o contraste da imagem de referência é muito parecido com o da imagem normalizada. Esta afirmação pode ser comprovada pela comparação entre o histograma das imagens de referência, ajuste e normalizada, demonstrada na Figura 5.3. Observe que o histograma da imagem de referência se assemelha com o histograma da imagem normalizada.

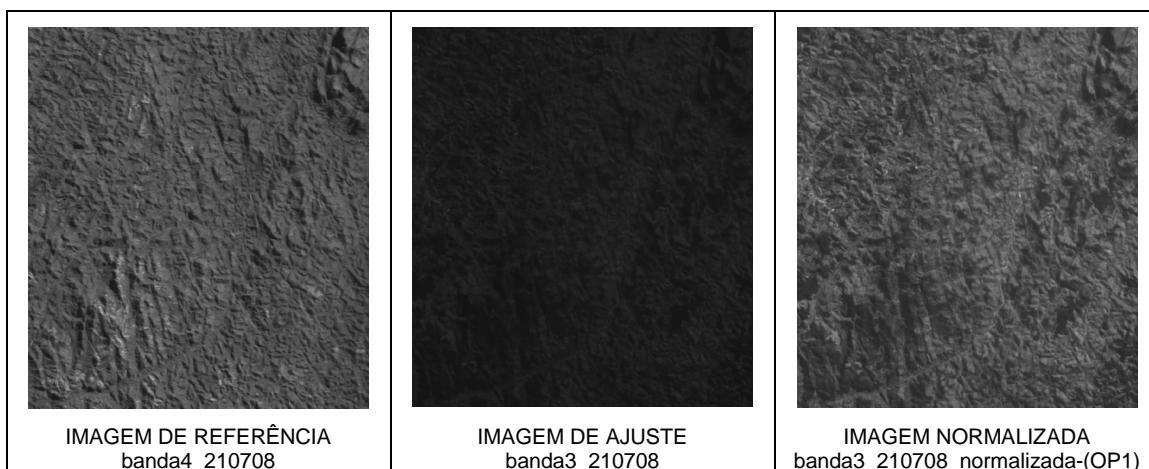


Figura 5.2. Comparação entre as imagens de referência, ajuste e normalizada.

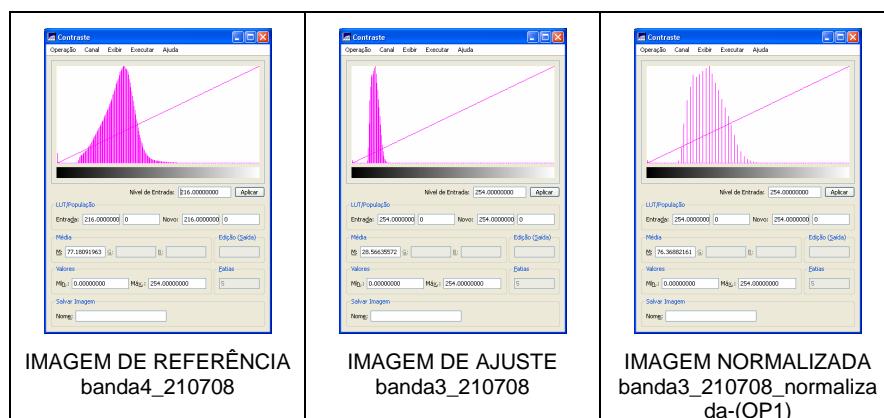


Figura 5.3. Comparação entre o histograma das imagens de referência, ajuste e normalizada.

	<b>Índices de Vegetação</b>	<b>06</b> <b>CAPÍTULO</b>
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------	------------------------------

Este capítulo tem por objetivo determinar índices de vegetação utilizando operações aritméticas para manipulação de imagens de satélite.

A atividade executada neste capítulo será:

- Determinação do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) para o quadrante representativo da bacia hidrográfica do rio Alegre, ES.

### **6.1. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO**

Índices de vegetação são medidas quantitativas, baseadas nos valores digitais, que tentam medir biomassa ou vigor vegetativo.

Geralmente, um índice de vegetação é formado pela combinação de bandas espectrais que podem ser adicionadas, subtraídas, divididas, ou multiplicadas de forma a produzir um valor único que indique a quantidade ou vigor de vegetação. Um índice de vegetação com alto valor de brilho indica pixels cobertos por uma alta proporção de vegetação viva (saudável).

A forma mais simples de obter o índice de vegetação é pela razão entre duas bandas espectrais. Algumas razões entre bandas têm sido definidas a partir do conhecimento do comportamento espectral da vegetação viva.

Razões entre bandas, geralmente, são quocientes entre medidas de reflectância em porções separadas do espectro. As razões são efetivas em realçar ou revelar informações quando existe uma relação inversa entre duas respostas espectrais para o mesmo fenômeno biofísico.

Se duas feições têm o mesmo comportamento espectral, as razões entre bandas fornecem poucas informações adicionais. Por outro lado, se elas têm respostas espectrais bem diferentes, a razão entre as bandas fornece um valor único que, concisamente, expressa o contraste entre as duas reflectâncias.

Para a vegetação viva, a estratégia da razão pode ser, especialmente, efetiva devido à relação inversa entre valores de brilho da vegetação na região do vermelho e infravermelho próximo. Isto é, a absorção da luz vermelha (VM) pela clorofila (80% a 90%) e a alta reflexão da radiação infravermelha (IV) pela mesófila (40 a 50%) asseguram que as características espectrais do vermelho e o infravermelho próximo serão bem diferentes e, consequentemente, a razão (IV/VM) será alta. Superfícies não-vegetadas, incluindo água, solo exposto, e vegetação morta ou estressada não terão estas respostas espectrais específicas e, consequentemente, suas razões irão decrescer em magnitude. Assim, a razão IV/VM pode fornecer uma medida da importância da reflectância vegetativa dentro de um dado pixel.

A razão IV/VM é uma das muitas medidas usadas para medir o vigor da vegetação. A razão verde/vermelha (VD/VM), por exemplo, é baseada nos mesmos conceitos usados pela razão IV/VM, embora seja menos efetiva.

A seguir, serão apresentadas as características sobre vários Índices de Vegetação, propostos por vários pesquisadores.

De acordo com Eastman (1998), o Índice de Razão de Vegetação (do inglês “Ratio Vegetation Index”) (RATIO) foi proposto por Rouse *et al.*, (1974) para separar vegetação verde de solo utilizando Imagem do satélite Landsat – MSS. O Infravermelho RATIO é produzido por uma

simples divisão de valores de reflectância contidos em bandas do infravermelho próximo por aqueles contidos na banda do vermelho, sua equação é descrita a seguir.

$$RATIO = \frac{IV}{VM}$$

Em que:

*RATIO*: Índice de Razão de Vegetação.

*IV*: Banda correspondente ao Infravermelho Próximo.

*VM*: Banda correspondente ao vermelho.

Um dos índices de vegetação baseado na razão entre bandas mais amplamente usado é o índice conhecido como Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (do inglês “Normalized Difference Vegetation Index”) (NDVI) desenvolvido por Rouse *et al.*, (1973), citado por Jansen (1986) dado pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{(IV - VM)}{(IV + VM)}$$

Em que,

*NDVI*: Índice de vegetação por diferença normalizada.

*IV*: Banda do infravermelho Próximo.

*VM*: Banda do vermelho.

O *NDVI* foi introduzido para produzir um IV espectral que separa vegetação verde do brilho do solo de fundo, utilizando, primeiramente, dados digitais do satélite Landsat MSS. Este é o índice de vegetação mais comumente empregado, que minimiza efeitos topográficos. Possui a propriedade de variar entre -1 a +1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal. O 0 (zero) representa valor aproximado para ausência de vegetação, ou seja, representa superfícies não vegetadas.

Dering *et al.*, (1975), citado por Jansen (1986), utilizou outro tipo de índice de vegetação adicionando 0,5 ao *NDVI* e extraíndo sua raiz quadrada. Tem sido extensivamente utilizado para medir a quantidade de vegetação. Este índice foi denominado de Índice de Vegetação Transformado (do inglês “Transformed Vegetation Index”) (TVI), cuja equação é a seguinte:

$$TVI = \text{valor absoluto.} \sqrt{(NDVI + 0,5)}$$

Em que,

*TVI*: índice de vegetação transformado.

Na equação do *TVI*, a constante 0,50 é introduzida para evitar operações com valores negativos de *NDVI*. O cálculo da raiz quadrada pretende corrigir os valores do *NDVI* introduzindo uma distribuição normal.

Outro tipo de índice é o denominado de Índice de Correção Transformada da Vegetação (do inglês “Corrected Transformed Vegetation Index”) (CTVI) proposto por Perry & Lautenschlager (1984), citado por Jansen (1986), a fim de corrigir o *TVI*, cuja equação é a seguinte:

$$CTVI = \frac{(NDVI + 0,5)}{ABS(NDVI + 0,5)} \cdot \sqrt{ABS(NDVI + 0,5)}$$

Em que,

*CTVI*: Índice de Correção Transformada da Vegetação.

*ABS*: Valor absoluto.

O *CTVI* pretende corrigir o *TVI* adicionando a constante de 0.50 para todos os valores *NDVI*, nem sempre eliminando todos os valores negativos de *NDVI*, podendo ter um alcance de -1 a +1. Valores menores que -0.50 tornam-se valores negativos menores depois da operação de adição. Assim, o *CTVI* é elaborado para resolver essa situação dividindo o (*NDVI* + 0.50) por seu valor absoluto *ABS* (*NDVI* + 0.50) e multiplicando pela raiz quadrada do valor absoluto, suprimindo o sinal negativo.

Thiam (1997), apud Eastman (1998), indicou que o resultado imagem do *CTVI* pode ser muito ruidoso devido a uma superestimação da vegetação verde. Para obter melhores resultados, Thiam sugeriu ignorar o primeiro termo da equação do *CTVI* e adicionar, simplesmente, a raiz quadrada dos valores absolutos para o *NDVI* e *TVI*, para se apresentar um novo índice conhecido como Índice de Vegetação Transformado de Thiam's (do inglês "Thiam's Trasnformed vegetation Index") (*TTVI*), expresso pela seguinte equação:

$$TTVI = \sqrt{\left( ABS\left( \frac{IV - VM}{IV + VM} \right) + 0,5 \right)}$$

Em que,

*TTVI*: Índice de vegetação transformado de Thiam's.

*IV*: Banda do infravermelho.

*VM*: Banda do vermelho.

*ABS*: valor absoluto.

Eastman (1998), em sua revisão bibliográfica, descreve sobre outras equações de índice de vegetação.

❖ **DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DE DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) PARA O QUADRANTE REPRESENTATIVO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALEGRE, ES.**

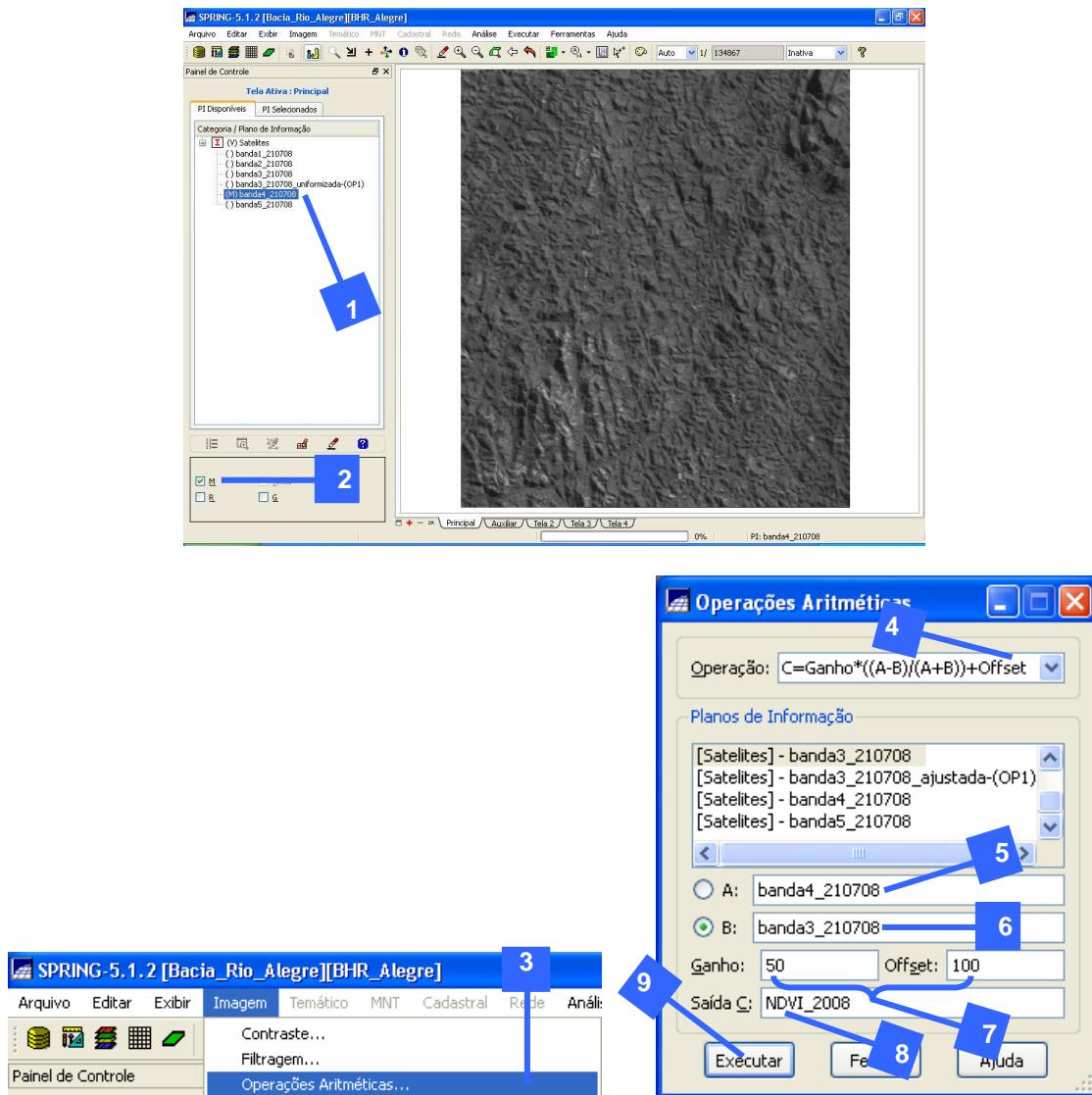
A fim de determinar o *NDVI* para o ano de 2008 do quadrante representativo da bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, serão utilizadas as seguintes imagens do satélite CBERS:

- banda4\_210708 – BANDA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO.
- banda3\_210708 – BANDA DO VERMELHO.

Antes de seguir as etapas práticas, ative o Banco de Dados [Bacia\_Rio\_Alegre] e o Projeto [BHR\_Alegre].

1. No **Painel de Controle**, selecione a imagem denominada **banda4\_210708**.
2. Selecione a paleta de cor **M** (monocromática).
3. No menu **Imagen**, clique na opção **Operações Aritméticas**.
4. Na caixa de diálogo **Operações Aritméticas**, no dropdown da opção **Operação** selecione **C=Ganho\*((A-B)/(A+B))+Offset**.
5. Marque a opção A e selecione a imagem **banda4\_210708**.

6. Marque a opção **B** e selecione a imagem **banda3\_210708**.
7. Para as caixas de entrada **Ganho** e **Offset**, entre com os valores de **50** e **100**, respectivamente. (Obs: Posteriormente, você poderá testar outros valores de Ganho e Offset).
8. Para a caixa de entrada **Saída C**, entre com o nome **NDVI\_2008**.
9. Clique no botão **Executar**.



#### ❖ ANÁLISE MATEMÁTICA DO GANHO E DO OFFSET

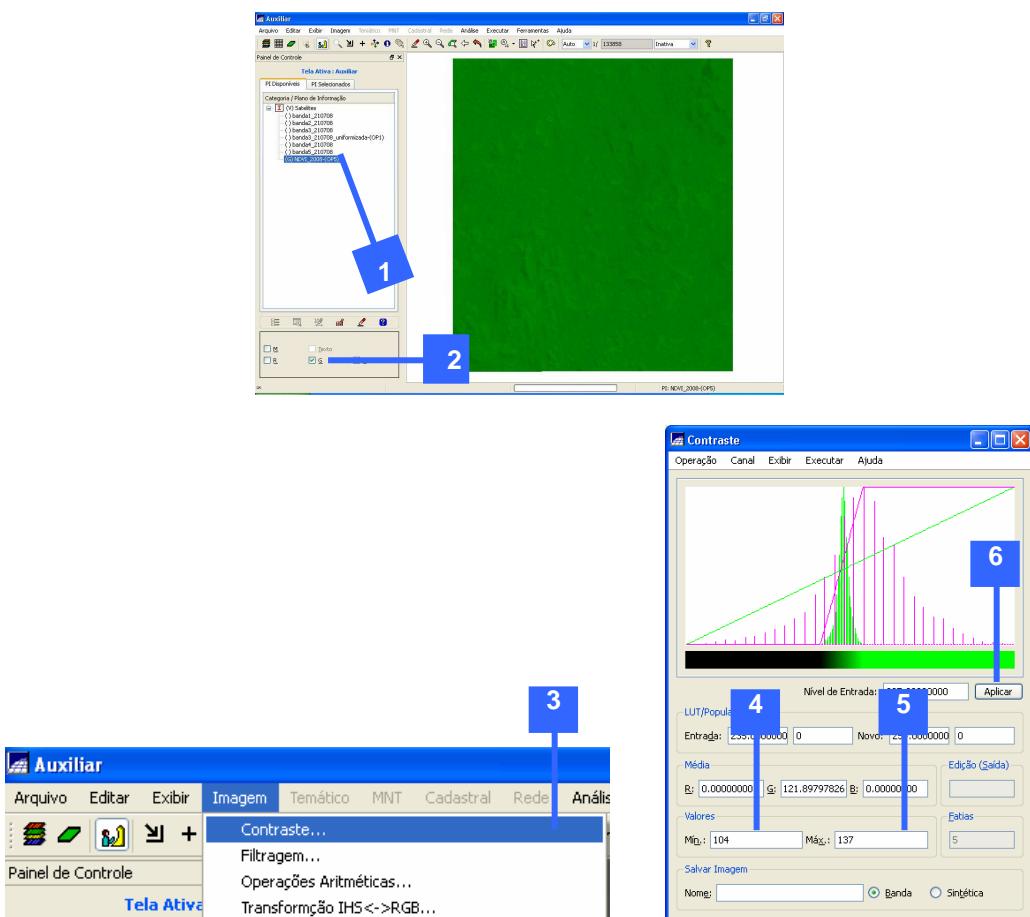
Vamos supor que após a aplicação de uma operação aritmética, objetivando elaborar uma imagem NDVI com Ganho e Offset de 50 e 100, respectivamente, um determinado pixel da imagem apresentou o valor de NDVI de 73,4 (NDVI PROCESSADO). Nesta circunstância, o valor do NDVI ORIGINAL será de:

$$\begin{aligned} \text{NDVI PROCESSADO} &= \text{GANHO} * \text{NDVI ORIGINAL} + 100 \\ 73,4 &= 50 * \text{NDVI ORIGINAL} + 100 \\ \text{NDVI ORIGINAL} &= (73,4 - 100) / 50 \\ \text{NDVI ORIGINAL} &= -0,532 \end{aligned}$$

Logo, com a aplicação do Ganho e Offset sobre o NDVI ORIGINAL que, neste caso, é negativo (-0,532), obtém-se um novo valor de NDVI (73,4) com valor positivo, de mais fácil interpretação visual.

**❖ APLICAÇÃO DE REALCE DE CONTRASTE LINEAR SOBRE A IMAGEM NDVI DO ANO DE 2008**

1. Na janela Auxiliar, no **Painel de Controle**, selecione a imagem denominada **NDVI\_2008-(OP5)**.
2. Selecione a paleta de cor **G** (verde).
3. No menu **Imagen**, clique na opção **Contraste**.
4. Na caixa de diálogo **Contraste**, na caixa de entrada **Min** entre com os valor de **104** e clique em **CR**.
5. Na caixa de diálogo **Contraste**, na caixa de entrada **Max** entre com os valor de **137** e clique em **CR**.
6. Clique no botão **Aplicar**.



Abaixo, é demonstrada a imagem NDVI\_2008-(OP5) com aplicação do contraste linear, evidenciando que as áreas verdes claras se apresentam mais vegetadas quando comparadas, por exemplo, com a mancha urbana da cidade de Alegre, ES, a qual apresenta coloração mais escura, enfatizando as edificações e a não presença de vegetação (Figura 6.1).

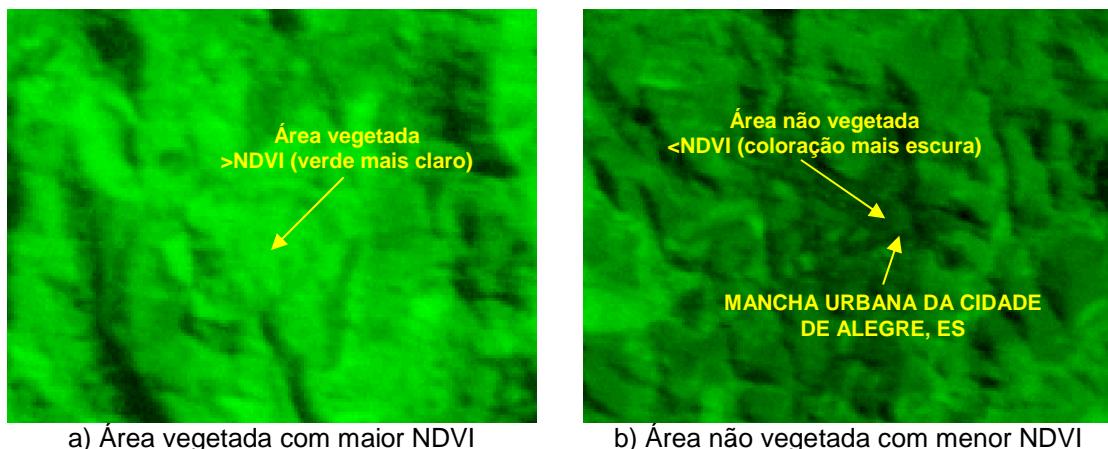
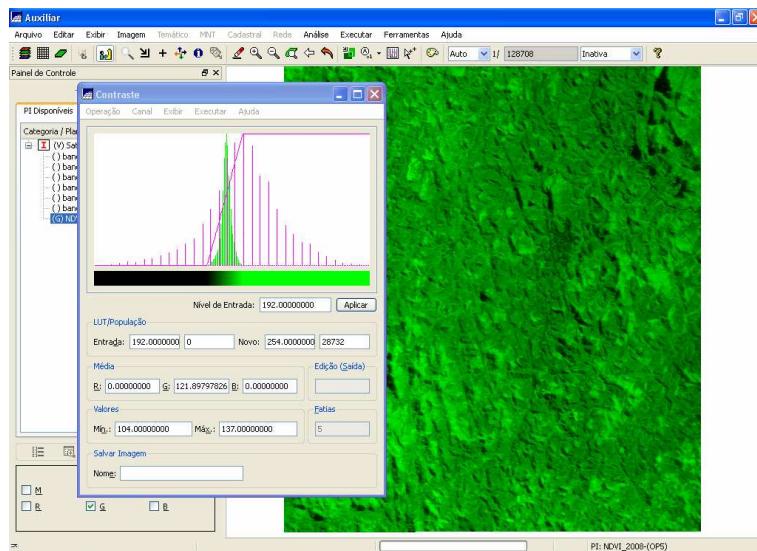
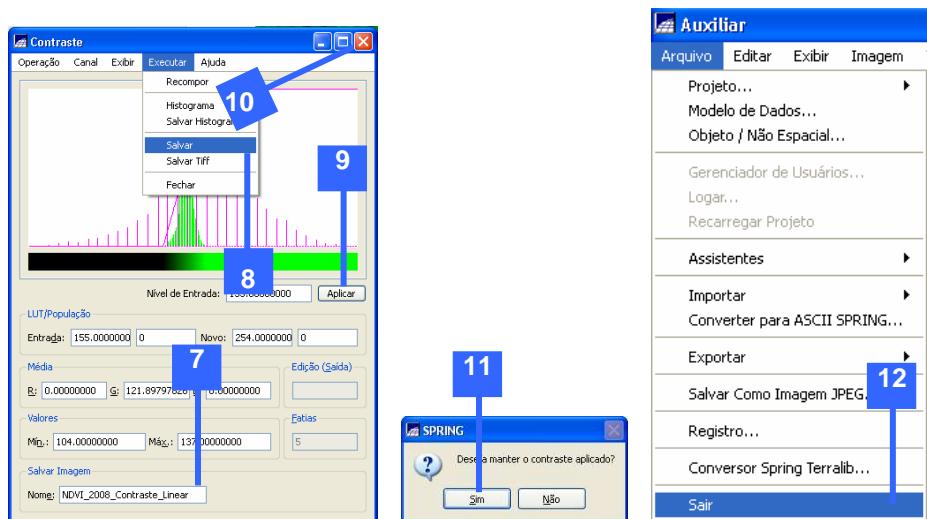


Figura 6.1. Comparação entre o NDVI de áreas vegetadas (a) e não vegetadas com presença de edificações (b).

7. Na caixa de diálogo **Contraste**, na caixa de entrada **Nome**, digite **NDVI\_2008\_Contraste\_Linear**.
8. No menu **Executar**, clique na opção **Salvar**.
9. Clique no botão **Aplicar**.
10. Clique no botão **Fechar**
11. Clique no botão **Sim** para manter o contraste aplicado sobre a imagem atual.
12. No menu Arquivo, clique na opção **Sair**.



Os passos demonstrados, anteriormente, foram aplicados num trabalho científico, apresentado no XIV Simpósio de Sensoriamento Remoto do INPE (2009), visando determinar análise da cobertura florestal por meio da subtração de imagem NDVI na Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES (Figura 6.2). Já a Figura 6.3 mostra a variação temporal da cobertura vegetal da Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES, entre os anos de 1985 e 2007.

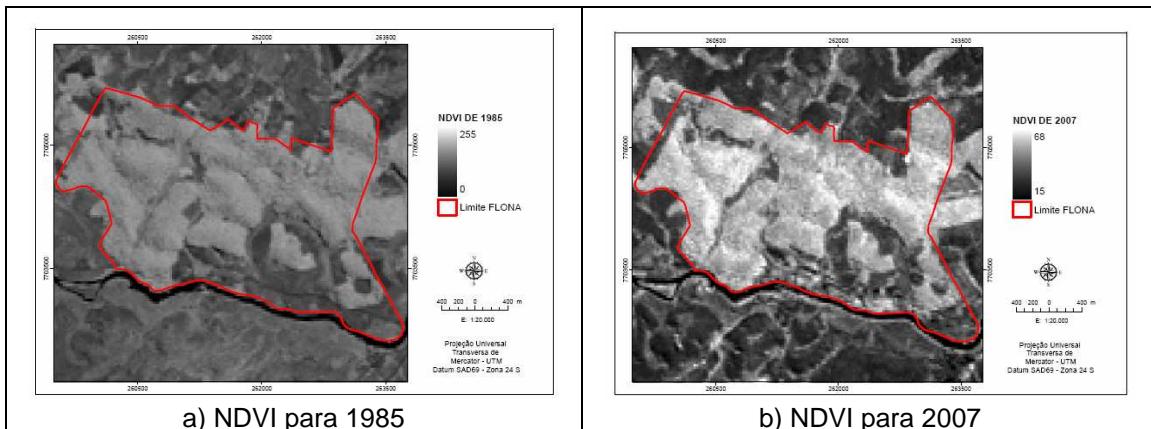


Figura 6.2. NDVI na Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES, para os anos de 1985 e 2007.

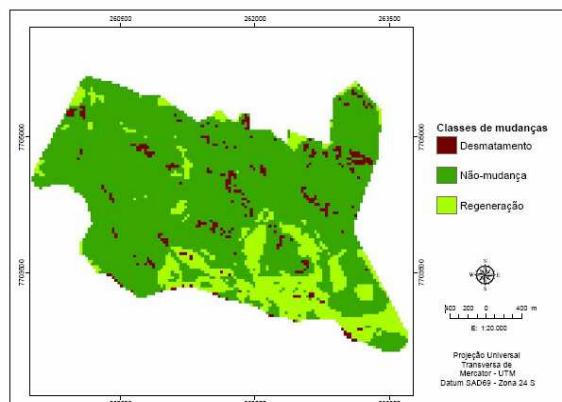


Figura 6.3. Variação temporal da cobertura vegetal da Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES, entre os anos de 1985 e 2007.

Abaixo é demonstrado o endereço eletrônico representativo da publicação deste trabalho:

- Análise da Cobertura Florestal por meio da subtração de imagem NDVI na Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES. (Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3995-4001.) disponibilizado no seguinte endereço eletrônico (Figura 6.4):

<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.11.48/doc/3995-4001.pdf>

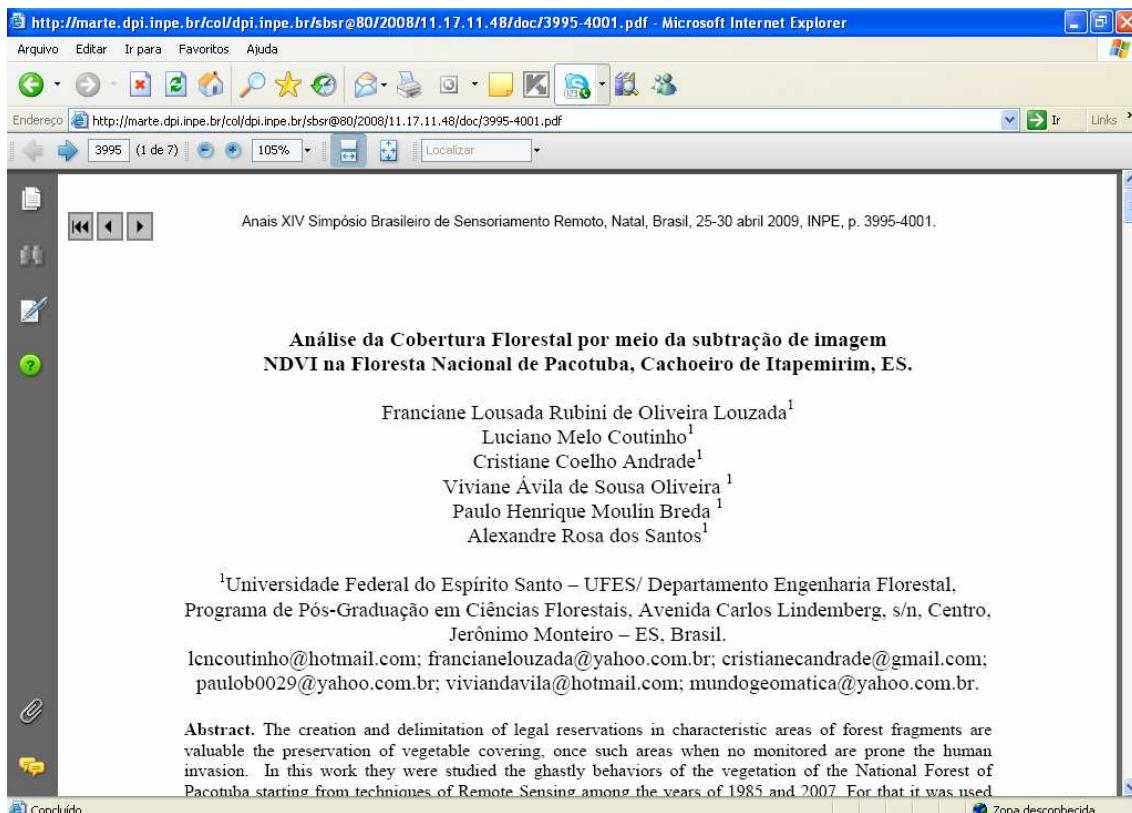


Figura 6.4. Trabalho publicado no XIV SBSR.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows: Introdução e Exercícios Tutorais**. J. Ronald Eastman. Editores da versão em português, Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre: UFRGS, Centro de recursos Idrisi, 1998.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. New Jersey : Prentice-Hall, 1986. 379 p.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W.,1973. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Third Symposium of ERTS, Greenbelt, Maryland, USA. NASA SP-351, V1:309-317.

LOUZADA, F.L.R.O.; COUTINHO, L.M.; ANDRADE, C.C.; OLIVEIRA, V.A.S.; BREDA, P.H.M.; SANTOS, A.R. Análise da Cobertura Florestal por meio da subtração de imagem NDVI na Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES. **Anais...**, INPE, p. 3995-4001, 2009. Disponível em:

<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.11.48/doc/3995-4001.pdf>



## CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE

**07  
CAPÍTULO**

Alexandre Rosa dos Santos, Nathália Suemi Saito, Telma Machado de Oliveira Peluzio, Alexandre Cândido Xavier, Geraldo Régis Mauri.

Este capítulo tem por objetivo apresentar os processos de classificação de imagens de satélite, visando à elaboração de mapas de uso e ocupação do solo de uma área pertencente ao bairro Pavuna, Alegre, ES.

As seguintes atividades serão elaboradas:

- Elaboração do mapa de uso e ocupação do solo utilizando os algoritmos de classificação da máxima verossimilhança (Maxver), Bhattacharya e Isoseg.
- Elaboração do layout do mapa de uso e ocupação do solo gerado pelo algoritmo de classificação da máxima verossimilhança (Maxver) (Figura 7.1).

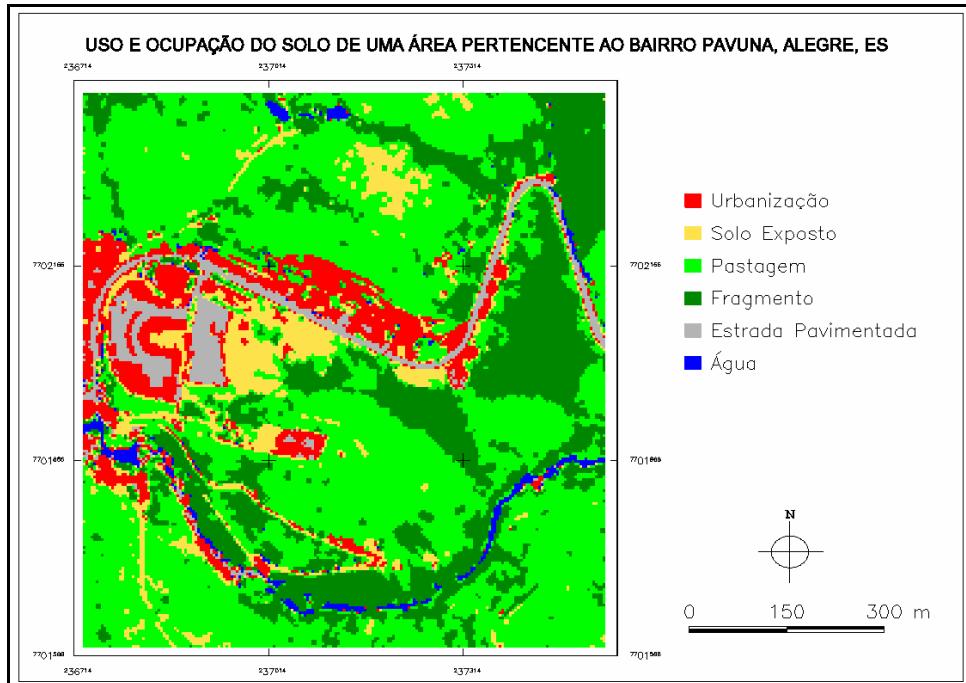


Figura 7.1. Uso e ocupação do solo gerado pelo algoritmo de classificação da máxima verossimilhança (Maxver) de uma área pertencente ao bairro Pavuna, Alegre, ES.

### **7.1. CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS**

Classificação de imagens digitais de satélite é o processo de assinalar pixels às classes. Usualmente, cada pixel é tratado como uma unidade individual composta de valores em várias bandas espectrais.

Pela comparação de um pixel a outros pixels de identidade conhecida, é possível agrupar aqueles cujas reflectâncias espectrais são semelhantes em classes mais ou menos homogêneas. Estas classes formam regiões sobre um mapa ou imagem de forma que, após a classificação, a imagem digital seja apresentada como um mosaico de parcelas uniformes, em que cada uma é identificada por uma cor ou símbolo (Figura 7.2).

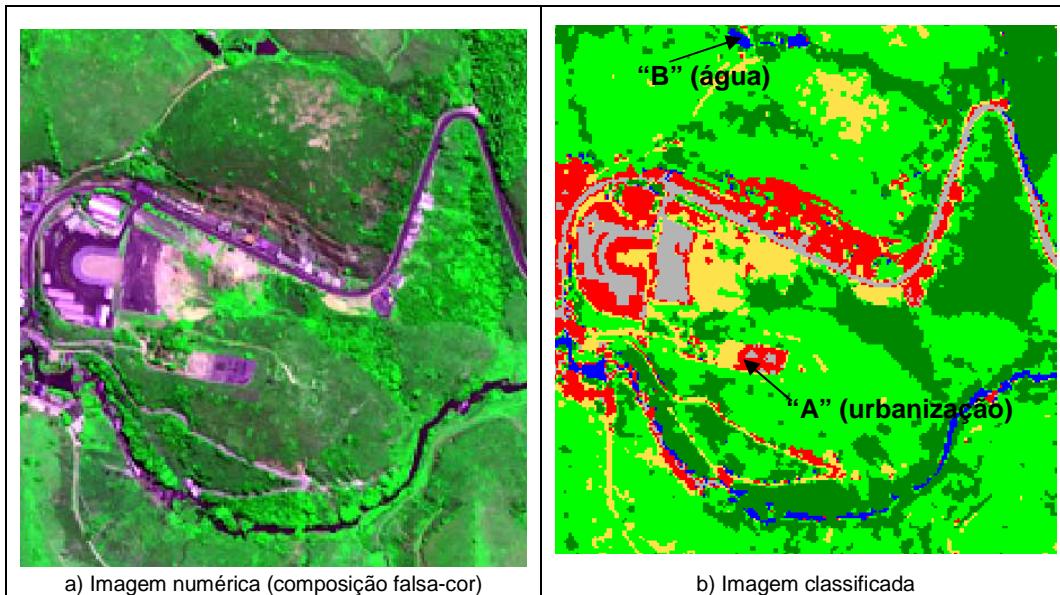


Figura 7.2. Imagem numérica oriunda da composição colorida em falsa-cor (a) e imagem classificada (b).

A imagem classificada é definida a partir da análise da imagem numérica, de forma que aqueles pixels que têm valores espectrais semelhantes são agrupados em classes espectralmente similares. Neste exemplo, a classe “A” (urbanização) é formada por pixels claros (altos valores de cinza) que variam de 70 a 130, e a classe “B” (água) é formada por pixels escuros (baixos valores de cinza) variando de 5 a 40. Geralmente, existe um maior número de classes e no mínimo três ou quatro bandas espectrais.

A classificação de imagens digitais tem se constituído em um dos mais importantes campos de sensoriamento remoto. Em alguns casos, a classificação pode ser o próprio objeto final de análise.

O termo “classificador” digital refere-se a um programa de computador que implementa um procedimento específico para a classificação de uma imagem digital. Ao longo dos anos, os cientistas têm desenvolvido várias estratégias de classificação; de forma que o analista precisa selecionar, a partir dessas alternativas, qual o classificador a ser usado em tarefas específicas. Atualmente, é impossível dizer que um dado classificador é melhor para todas as situações, porque as características de cada imagem e as circunstâncias para cada estudo estão sempre variando. Portanto, é essencial que o analista compreenda as estratégias alternativas para a classificação de imagens, para que ele possa estar preparado para selecionar o classificador mais apropriado para determinada tarefa.

## 7.2. CLASSIFICAÇÃO “PIXEL A PIXEL” E POR REGIÃO

- **Classificadores "pixel a pixel":** utilizam apenas a informação espectral isoladamente de cada pixel para achar regiões homogêneas. O resultado final de um processo de classificação “pixel a pixel” é uma imagem digital que constitui um mapa de “pixels” classificados, representados por símbolos gráficos ou cores.
- **Classificadores por região:** utilizam, além de informação espectral de cada “pixel”, a informação espacial que envolve a relação entre os “pixels” e seus vizinhos. Esses classificadores procuram simular o comportamento de um fotointérprete, ao reconhecer áreas homogêneas de imagens, baseado nas propriedades espetrais e espaciais de imagens.

### **7.3. CLASSE INFORMAL E CLASSE ESPECTRAL**

É importante não confundir classe informal com classe espectral.

- **CLASSE INFORMAL:** são categorias de interesse dos usuários de dados digitais. Classes informais são, por exemplo, os diferentes tipos de unidades geológicas, diferentes tipos de florestas, etc., que fornecem informações aos planejadores, administradores e cientistas que usam informações derivadas de dados obtidos remotamente. Em resumo, classes informais são aquelas classes que o homem define.
- **CLASSE ESPECTRAL:** são grupos de pixels que são uniformes em termos de valores de brilho em suas diversas bandas espectrais. Estas classes precisam ser identificadas e nomeadas pelo analista.

### **7.4. CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA E NÃO-SUPERVISIONADA**

- **CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA:** pode ser definida como o processo de usar amostras de identidade conhecida (Ex: pixels já assinalados as classes informacionais) para classificar pixels de identidade desconhecida (em outras palavras, assinar pixels desconhecidos a uma das várias classes informacionais). Na classificação supervisionada, a identidade e a localização de algumas feições, tais como agricultura, floresta e urbanização, são conhecidas, inicialmente, por meio da combinação de trabalhos de campo, análises de fotografias aéreas convencionais ou digitais, mapas e experiência profissional, nos quais o analista tenta localizar as áreas específicas que representam exemplos homogêneos destas feições conhecidas. Essas áreas são denominadas de áreas de treinamento porque as suas características espectrais conhecidas são usadas para “treinar” o algoritmo de classificação para o mapeamento das feições presentes no restante da imagem. Parâmetros estatísticos multivariados (média, desvio padrão, matriz de covariância, matriz de correlação, etc.) são calculados para cada área de treinamento. Assim, cada pixel dentro e fora das áreas de treinamento é avaliado e assinalado à classe à qual ele tem maior probabilidade de pertencer. É importante ressaltar que as áreas de treinamento devem ser as mais homogêneas possíveis, e que não incluem limites de transição entre diferentes feições. A Figura 7.3 mostra todas as etapas necessárias para a classificação supervisionada.

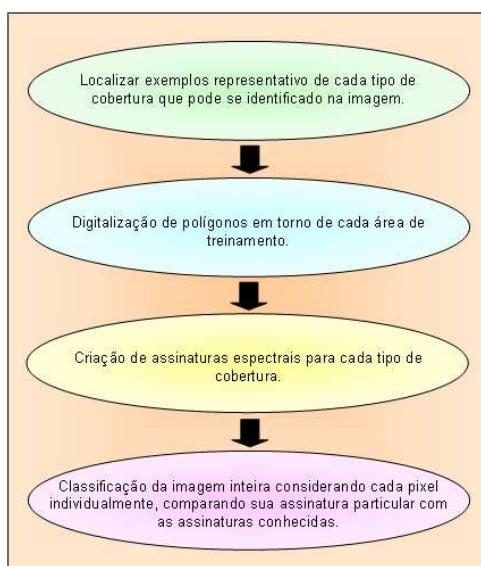


Figura 7.3. Etapas necessárias para a classificação supervisionada.

- **CLASSIFICAÇÃO NÃO-SUPERVISIONADA:** esta classificação não requer qualquer informação prévia sobre as classes de interesse. Ela examina os dados e os divide nos agrupamentos espectrais naturais predominantes presentes na imagem. O analista então identifica esses agrupamentos como classes de cobertura do solo, por meio de uma combinação de sua familiaridade com a região estudada e visitas para levantamento de verdade de campo.

## **7.5. ALGORITMOS DE CLASSIFICAÇÃO**

Existe uma variedade de algoritmos de classificação nos quais os pixels desconhecidos podem ser comparados com os pixels do conjunto de treinamento. Em cada caso, o produto final é uma imagem classificada, representando então um mapa temático. Esses algoritmos de classificação podem ser paramétricos e não paramétricos. Este último, não faz suposições sobre as distribuições das classes. Já os paramétricos produzem bons resultados mesmo quando a distribuição de classe assumida é inválida. A Tabela 7.1. mostra os algoritmos de classificação mais comuns:

Tabela 7.1. Algoritmos de classificação mais comuns.

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>TIPO</b>	<b>ALGORITMO</b>
Supervisionada	Pixel a pixel	paralelepípedo
		distância mínima
		máxima verossimilhança
Não-supervisionada	Por região	Bhattacharya
		Mahalanobis (Isseg)

### **❖ ALGORITMO DE CLASSIFICAÇÃO DO PARALELEPÍPEDO**

Esse algoritmo de classificação (supervisionado) considera uma área no espaço de atributos ao redor do conjunto de treinamento, sendo que essa área tem a forma de um quadrado ou paralelepípedo, definido pelos valores de reflectância máximos e mínimos do conjunto de treinamento.

Todos os pixels situados dentro do paralelepípedo serão classificados como pertencentes a uma classe, e os lados do paralelepípedo constituem os chamados limites de decisão de classe. Uma outra característica desse método é que, numa imagem típica de sensoriamento remoto, contendo milhares de pixels, a maioria deles vai provavelmente cair fora dos limites de decisão das classes, por mais classes que se defina. Isso se deve ao fato de que o volume do espaço de atributos que não pertence a nenhuma das classes é muito grande (CROSTA, 1993).

Os limites de decisão podem ser definidos como:

- valores máximos e mínimos de cada assinatura;
- a média de cada banda, mais ou menos o desvio padrão;
- limites especificados pelo analista baseado na experiência e conhecimento dos dados e assinaturas.

### DEMONSTRAÇÃO MATEMÁTICA DO ALGORITIMO DO PARALELEPÍPEDO

Um pixel desconhecido será assinado a uma classe “c” qualquer se e somente se:

$$\bar{x}_{ck} - \sigma_{ck} \leq VB_{ijk} \leq \bar{x}_{ck} + \sigma_{ck}$$

Em que,

$\bar{x}_{ck}$  = média da classe  $c$  na banda  $k$ ;

$\sigma_{ck}$  = desvio padrão da classe  $c$  na banda  $k$ ;

$VB_{ijk}$  = valor de brilho na linha  $i$ , coluna  $j$  e banda  $k$ ;

$c$  = número de classes envolvidas na classificação;

$k$  = número de bandas envolvidas na classificação.

Redefinindo esta equação, temos que:

$$LI_{ck} \leq VB_{ijk} \leq LS_{ck}$$

Em que,

$LI_{ck}$  = limite inferior  $\Rightarrow \bar{x}_{ck} - \sigma_{ck}$

$LS_{ck}$  = limite superior  $\Rightarrow \bar{x}_{ck} + \sigma_{ck}$

#### Vantagens do algoritmo de classificação do paralelepípedo:

- simples e eficiente em termos computacionais;
- leva em consideração a variância.

#### Desvantagens do algoritmo de classificação do paralelepípedo:

- baixa precisão;
- não leva em consideração a covariância dos dados.

**OBS:** muitos pixels não são classificados por não atenderem o intervalo dos limites. Uma solução seria aumentar o intervalo por meio do desvio padrão, porém, isto provocaria uma maior superposição.

#### Exemplo de aplicação prática do algoritmo de classificação do paralelepípedo:

A Figura 7.4 mostra um esquema de aplicação do algoritmo de classificação do paralelepípedo (adaptado de EASTMAN, 1998). No diagrama heurístico, os valores de reflectância das assinaturas são indicados com letras minúsculas; os pixels que estão sendo comparados às assinaturas estão indicados com números; e as médias espectrais estão indicadas com pontos. Nesse caso, o pixel 1 será classificado como pastagem (**p**) enquanto deveria, provavelmente, ser classificado como solo exposto (**s**). Além disso, as “caixas” frequentemente se superpõem. Pixels com valores que caem nessa superposição são atribuídos à última assinatura, seguindo a ordem na qual os nomes das assinaturas foram introduzidos no módulo.

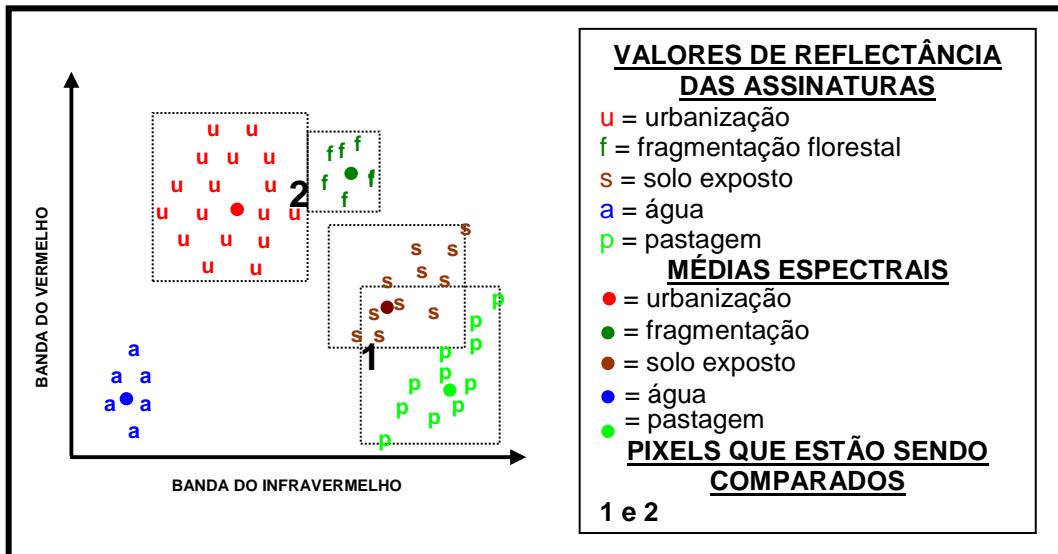


Figura 7.4. Esquema de aplicação do algoritmo de classificação do paralelepípedo (adaptado de EASTMAN, 1998).

#### ❖ ALGORITMO DE CLASSIFICAÇÃO DA DISTÂNCIA MÍNIMA

Este algoritmo de classificação (supervisionado) atribui cada pixel desconhecido à classe cuja média é mais próxima a ele. Isto porque, na maioria das situações reais encontradas em imagens de sensoriamento remoto, o nível de cinza dos pixels vai representar, na verdade, uma mistura de mais de um tipo de superfície. Uma solução para este caso é atribuir cada pixel desconhecido à uma ou outra classe, dependendo da classe que ele está mais próximo. Para isso, calcula-se a distância espectral de cada pixel até a média de cada classe em cada banda.

DEMONSTRAÇÃO MATEMÁTICA DO ALGORITMO DA DISTÂNCIA MÍNIMA
<p>A distância é geralmente calculada usando a distância euclidiana baseada no teorema de Pitágoras, expressa pela seguinte fórmula:</p> $DIST = \sqrt{\sum (VB_{ijk} - \bar{x}_{ck})^2}$ <p>Em que,</p> <p><math>DIST</math> = distância euclidiana;  <math>VB_{ijk}</math> = valor de brilho na linha <math>i</math>, coluna <math>j</math> e banda <math>k</math>;  <math>\bar{x}_{ck}</math> = média da classe <math>c</math> a banda <math>k</math>;  <math>c</math> = número de classes envolvidas na classificação;  <math>k</math> = número de bandas envolvidas na classificação.</p>

#### Vantagens do algoritmo de classificação da distância mínima euclidiana:

- simplicidade e eficiência em termos computacionais;
- maior precisão quando comparado ao paralelepípedo.

#### Desvantagens do algoritmo de classificação da distância mínima euclidiana:

- não leva em consideração a variância e a covariância.

**Exemplo de aplicação prática do algoritmo de classificação da distância mínima euclidiana:**

No diagrama heurístico da Figura 7.5, o pixel **1** está mais próximo da média do solo exposto (**s**) e é, por isso, atribuído à categoria solo exposto. A desvantagem deste classificador é ilustrada pelo pixel **2**, que está mais próximo à média da fragmentação florestal (**f**), mesmo parecendo estar dentro do intervalo de reflectância com maior probabilidade de ser urbanização (**u**).

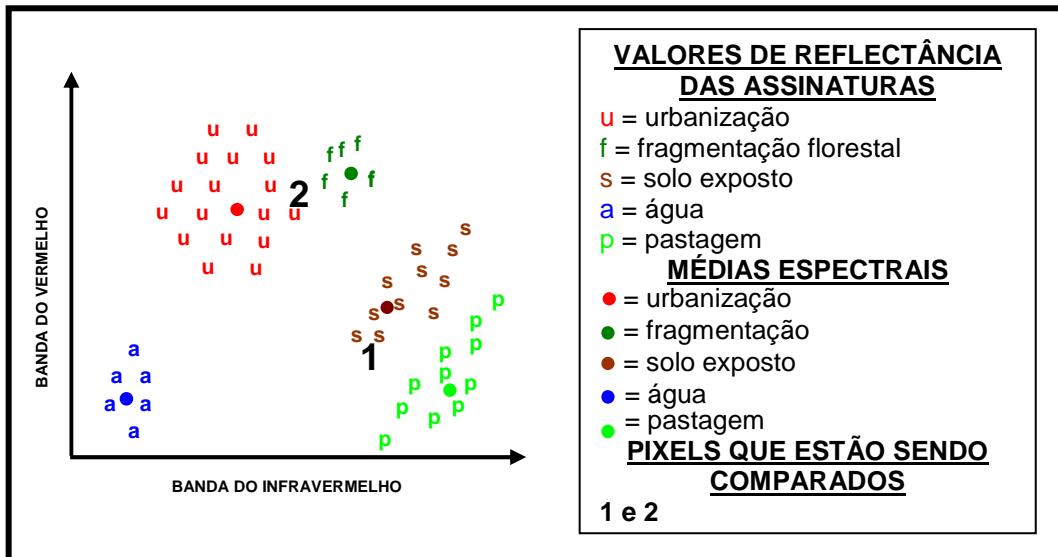


Figura 7.5. Esquema de aplicação do algoritmo de classificação da distância mínima euclidiana (EASTMAN, 1998, adaptado).

❖ **ALGORITMO DE CLASSIFICAÇÃO DA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA**

O algoritmo da máxima verossimilhança (supervisionado) avalia a variância e a covariância das categorias de padrões de resposta espectral quando classifica um pixel desconhecido. Para isso, assume-se que a distribuição da nuvem de pontos que forma a categoria dos dados de treinamento é Gaussiana (distribuição normal). Assumida essa suposição, a distribuição de um padrão de resposta espectral da categoria pode ser completamente descrita por um valor de média e pela matriz de covariância. Com esses parâmetros, é possível calcular a probabilidade estatística de um dado valor de pixel pertencer a uma classe particular de cobertura da terra (LILLESAND; KIEFFER, 2004).

**DEMONSTRAÇÃO MATEMÁTICA DO ALGORITMO DA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA**

O algoritmo da máxima verossimilhança pode ser expresso pela seguinte fórmula:

$$P_c = [-0,5 \log_e (\text{Det}(V_c)) - 0,5(X - M_c)^T (V_c)^{-1} (X - M_c)]$$

Em que,

$P_c$  = probabilidade de o vetor  $X$  ser assinalado;

$V_c$  = matriz de covariância da classe  $c$  contemplando todas as bandas ( $K, \dots, L$ );

$\text{Det}(V_c)$  = determinante da matriz de covariância  $V_c$ ;

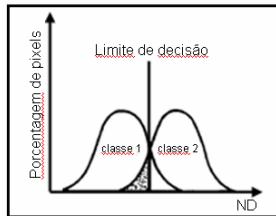
$X$  = vetor de medidas dos pixels desconhecidos;

$M_c$  = vetor das médias para cada classe  $c$ ;

$T$  = matriz transposta.

Os limites de classificação são definidos a partir de pontos de mesma probabilidade de classificação de uma e de outra classe.

A Figura 7.6 apresenta o limite de decisão de uma classificação, no ponto onde as duas distribuições se cruzam. Desta forma, um “pixel” localizado na região sombreada, apesar de pertencer à classe 2, será classificado como classe 1, pelo limite de decisão estabelecido.



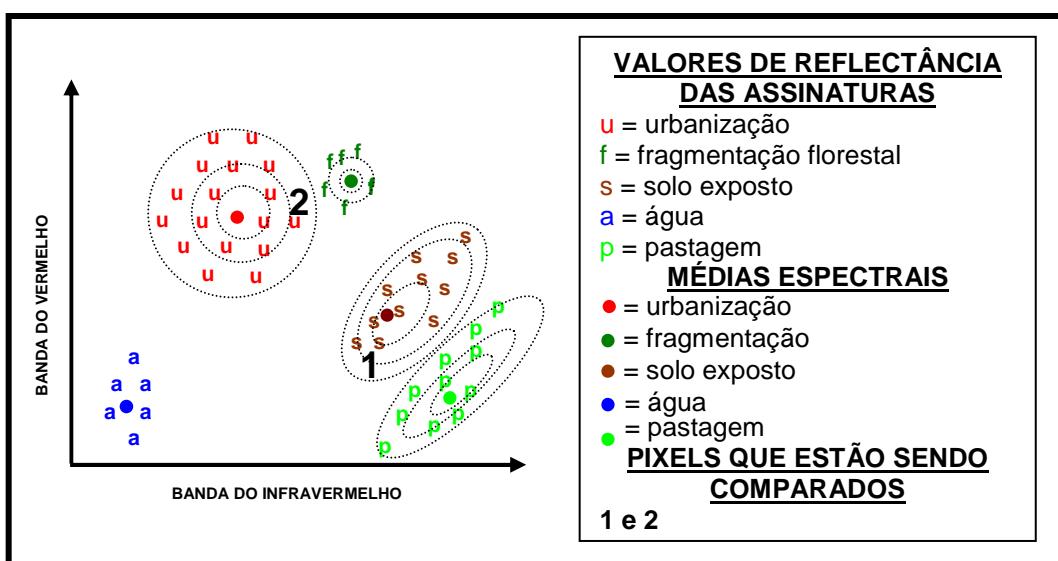
**Figura 7.6. Limite de decisão.**

O limiar de decisão indica a porcentagem (%) de "pixels" da distribuição de probabilidade de uma classe que será classificada como pertencente a esta classe. Um limiar de 99%, por exemplo, engloba 99% dos "pixels", sendo que 1% será ignorado (os de menor probabilidade), compensando a possibilidade de alguns "pixels" terem sido introduzidos no treinamento por engano, nesta classe, ou estarem no limite entre duas classes. Um limiar de 100% resultará em uma imagem classificada sem rejeição, ou seja, todos os "pixels" serão classificados.

Para diminuir a confusão entre as classes, ou seja, reduzir a sobreposição entre as distribuições de probabilidades das classes, aconselha-se a aquisição de amostras significativas de alvos distintos e a avaliação da matriz de classificação das amostras.

#### **Exemplo de aplicação prática do algoritmo de classificação da máxima verossimilhança:**

No diagrama heurístico da Figura 7.7, pelo fato da distribuição dos valores de reflectância em uma amostra de treinamento ser descrita por uma função de densidade de probabilidade, este classificador tende a apresentar resultados mais acurados. Logo, os pixels 1 e 2 serão classificados corretamente, sendo atribuídos às categorias urbanização (u) e solo exposto (s), respectivamente.



**Figura 7.7. Esquema de aplicação do algoritmo de classificação da máxima verossimilhança (EASTMAN, 1998, adaptado).**

❖ **ALGORITMO DE CLASSIFICAÇÃO MAXVER-ICM**

O classificador MAXVER-ICM é um algoritmo supervisionado que considera a dependência espacial. Na primeira etapa, a imagem é classificada pelo algoritmo MAXVER e, em seguida, o classificador atribui classes a um determinado pixel, considerando a sua vizinhança interativamente. Esse algoritmo também utiliza o limiar de aceitação. ([Referência???](#))

❖ **ALGORITMO DE CLASSIFICAÇÃO BHATTACHARYA**

O classificador de Bhattacharya é um algoritmo de classificação supervisionada, que requer a seleção de áreas de treinamento, podendo utilizar as regiões separadas durante o processo de segmentação ou polígonos representativos das regiões a serem classificadas. Ele utiliza as amostras de treinamento para estimar a função densidade de probabilidade das classes apontadas no treinamento. Em seguida, avalia, em cada região, a distância de Bhattacharya entre as classes (MOREIRA, 2005).

❖ **DEMONSTRAÇÃO MATEMÁTICA DO ALGORITMO BHATTACHARYA**

O algoritmo de Bhattacharya pode ser expresso pela seguinte fórmula:

$$B(p_i, p_j) = \frac{1}{2} (m_i - m_j)^T \sum (m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \frac{\left| \sum (m_i - m_j) \right|}{\left| \sum i \right|^{\frac{1}{2}} \left| \sum j \right|^{\frac{1}{2}}}$$

Em que,

$B$  = distância de Bhattacharya;

$p_i$  e  $p_j$  = pixels nas classes  $i$  e  $j$ ;

$m_i$  e  $m_j$  = médias das classes  $i$  e  $j$ ;

$T$  = matriz transposta;

$\ln$  = logaritmo neperiano;

$i$  e  $j$  = classes dentro do contexto.

❖ **ALGORITMO DE CLASSIFICAÇÃO ISOSEG**

O Isoseg é um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionado, aplicado sobre conjuntos de regiões que foram caracterizadas por seus atributos estatísticos (média e matriz de covariância) na fase de extração de regiões. Em outras palavras, é uma técnica para classificação que procura agrupar regiões, a partir de uma medida de similaridade entre elas. A medida de similaridade utilizada consiste na distância de Mahalanobis entre a classe e as regiões candidatas à relação de pertinência com essa classe (MOREIRA, 2005).

**DEMONSTRAÇÃO MATEMÁTICA DO ALGORITMO ISOSEG**

O algoritmo de Isoseg pode ser expresso pela seguinte fórmula:

$$D = \frac{1}{2} (X - m_i)^T C_i^{-1} (X - m_j)$$

Em que,

$D$  = distância de Mahalanobis;

$T$  = matriz transposta;

$C_i$  = matriz de covariância;

$m_i$  e  $m_j$  = vetor de média das classes  $i$  e  $j$ ;

$X$  = região de análise.

❖ **EXERCÍCIO PARA APRENDIZAGEM – ALGORITMO DA DISTÂNCIA MÍNIMA EUCLIDIANA**

Com o objetivo de compreender melhor o algoritmo da distância mínima euclidiana, vamos utilizar os dados estatísticos da Tabela 7.2 para classificar dois pixels desconhecidos **A** e **B** utilizando 5 classes de uso e ocupação do solo.

Tabela 7.2. Resultado estatístico de cinco classes nas bandas 4 e 5.

Classes	$\bar{x}$ na banda 4	$s$ na banda 4	$\bar{x}$ na banda 5	$s$ na banda 4
Residencial	36,5	4,53	55,7	10,72
Comercial	54,8	3,88	77,4	11,16
Pântano	20,2	1,88	28,2	4,31
Floresta	39,1	5,11	35,5	6,41
Água	9,3	0,56	5,2	0,71

Em que,

$\bar{x}$  = média das classes nas bandas 4 e 5

$s$  = desvio padrão das classes nas bandas 4 e 5

Um pixel desconhecido A (40,40) apresenta valores numéricos 40 nas bandas 4 e 5, enquanto que um outro pixel desconhecido B (10,40) apresenta valores numéricos de 10 na banda 4 e 40 na banda 5.

Usando os dados tabelados anteriormente, podemos calcular as distâncias dos pixels desconhecidos **A** e **B** até a média das 5 classes. Como apenas duas bandas estão envolvidas na classificação, a equação utilizada será:

$$DIST = \sqrt{\sum (VB_{ijk} - \bar{x}_{ck})^2 + (VB_{ijl} - \bar{x}_{cl})^2}$$

Em que,

$DIST$  = distância do pixel desconhecido até a classe C

$VB_{ijk}$  e  $VB_{ijl}$  = valores numéricos dos pixels desconhecidos na linha  $i$ , coluna  $j$ , bandas K e L

$\bar{x}_{ck}$  e  $\bar{x}_{cl}$  = médias para a classe C nas bandas K e L

Abaixo segue o exemplo da lógica de classificação do algoritmo da distância mínima até a média das 5 classes para os dois pixels desconhecidos **A** (40,40) e **B** (10,40).

CLASSE	PIXELS DESCONHECIDOS	
	A (40, 40)	B (10,40)
residencial	$\sqrt{(40 - 36,7)^2 + (40 - 55,7)^2} = 16,04$	$\sqrt{(10 - 36,7)^2 + (40 - 55,7)^2} = 30,97$
comercial	$\sqrt{(40 - 54,8)^2 + (40 - 77,4)^2} = 40,22$	$\sqrt{(10 - 54,8)^2 + (40 - 77,4)^2} = 58,35$
Pântano	$\sqrt{(40 - 20,2)^2 + (40 - 28,2)^2} = 23,04$	$\sqrt{(10 - 20,2)^2 + (40 - 28,2)^2} = 15,75$
Floresta	$\sqrt{(40 - 39,1)^2 + (40 - 35,5)^2} = 4,59$	$\sqrt{(10 - 39,1)^2 + (40 - 35,5)^2} = 29,45$
Água	$\sqrt{(40 - 9,3)^2 + (40 - 5,2)^2} = 46,4$	$\sqrt{(10 - 9,3)^2 + (40 - 5,2)^2} = 34,8$

Não é difícil perceber que o pixel desconhecido **A** será assinalado à classe de floresta por apresentar a menor distância entre eles de **4,59**. Por outro lado, o pixel desconhecido **B** será assinalado à classe de pântano, cuja menor distância foi **15,75**.

Muitos algoritmos de distância mínima permitem ao analista especificar uma distância limite (limiar) da média da classe a partir da qual o pixel não será assinalado a uma classe, mesmo que ele esteja próximo da média daquela classe. Por exemplo, se um limiar de **10** fosse especificado, o pixel desconhecido **A** ainda seria classificado como floresta por ter uma distância mínima de 4,59, que está abaixo do limiar. Já o pixel desconhecido **B** não seria assinalado à classe de pântano porque sua distância mínima de 15,75 foi superior ao limiar estabelecido de 10. Neste caso, esse pixel seria assinalado a uma classe desconhecida.

### **7.6. MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO USANDO O MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA (MAXVER)**

#### **❖ PREPARAÇÃO DO BASE DE DADOS**

1. Já com o Spring aberto, no menu **Arquivo**, clique na opção **Banco de Dados**.
2. Com o diretório **Livro\_Spring\_Alegre\_ES** já selecionado, selecione o banco de dados **Bacia\_Rio\_Alegre**.
3. Clique no botão **Ativar**.
4. No menu **Arquivo**, aponte para a opção **Projeto** e, novamente, clique na opção **Projeto**.
5. Clique no botão **Desativar**.
6. Nas caixas de entrada **X1**, **X2**, **Y1** e **Y2**, entre com os seguintes valores:

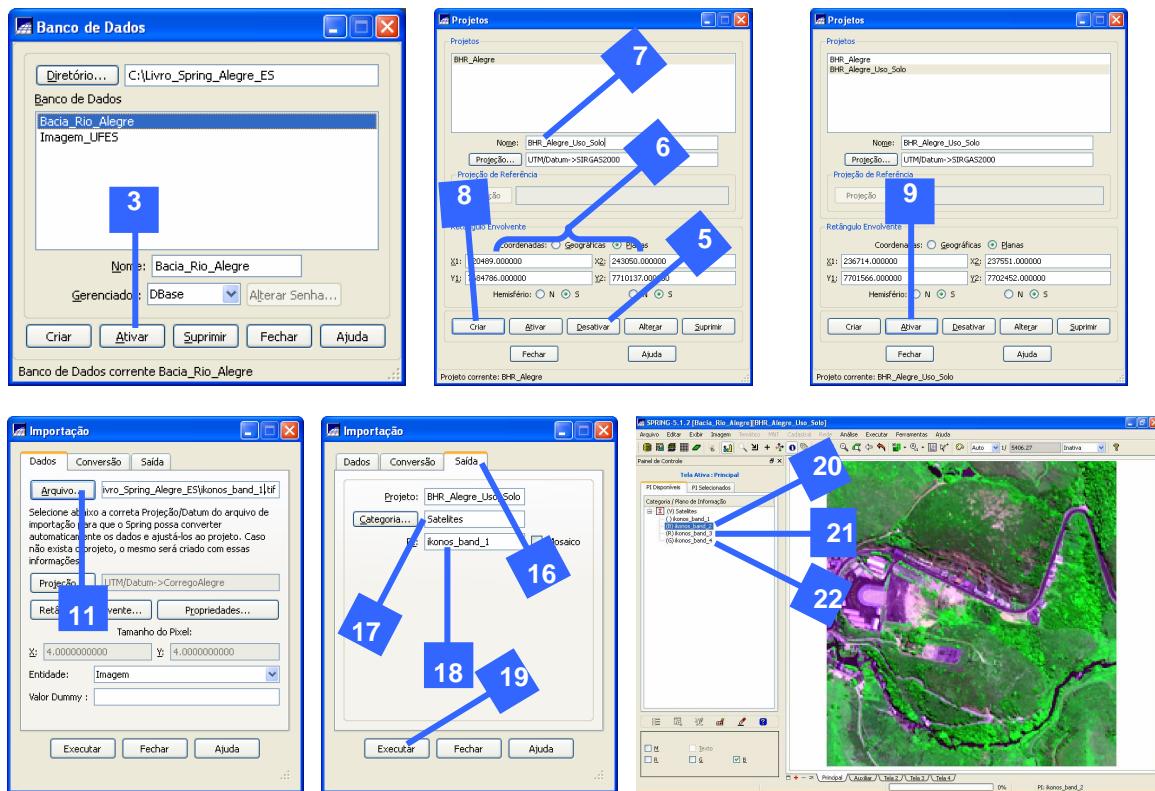
X1: 236714.000000	X2: 237551. 000000
Y1: 7701566.000000	Y2: 7702452. 000000

7. Na caixa de entrada **Nome** digite **BHR\_Alegre\_Uso\_Solo**.
8. Clique no botão **Criar**.
9. Clique no botão **Ativar**.
12. No menu **Arquivo**, aponte para a opção **Importar** e, posteriormente, para a opção **Importar Dados Vetoriais e Matriciais....**
13. Na caixa de diálogo **Importação**, clique no botão **Arquivo**.
14. Na caixa de diálogo, vá para o diretório **C:\Livro\_Spring\_Alegre\_ES**.
15. No dropdown **Ficheiros do tipo**, selecione **TIFF/GEOTIFF (\*.tif\* .tiff)**.
16. Selecione a imagem **ikonos\_band\_1.tif** (banda 1, azul, do satélite IKONOS).
17. Clique no botão **Abrir**.
18. Clique na guia **Saída**.
19. No botão **Categoria**, selecione **Satélites**.
20. Na caixa de entrada **PI** (plano de informação) digite o mesmo nome da imagem que, ou seja, **ikonos\_band\_1.tif**.
21. Finalmente, clique no botão **Executar**.

Repeta os passos anteriores para importar as seguintes imagens:

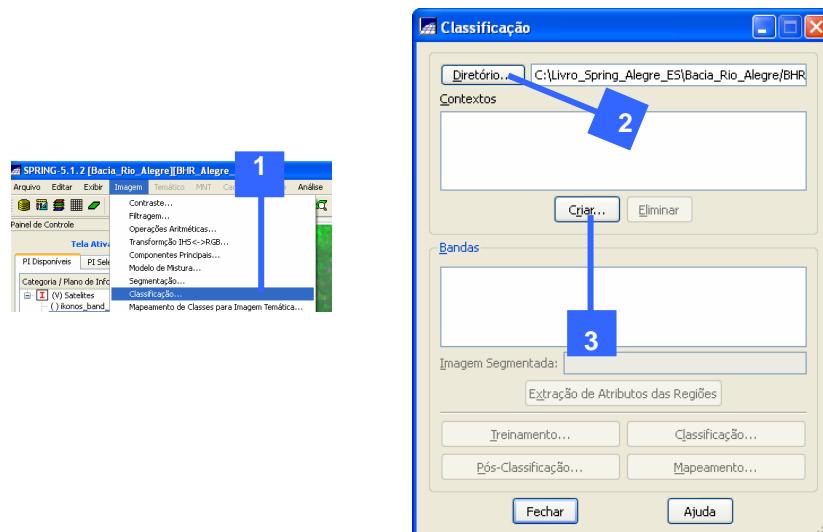
ikonos_band_2.tif	Verde
ikonos_band_3.tif	Vermelho
ikonos_band_4.tif	Infravermelho próximo

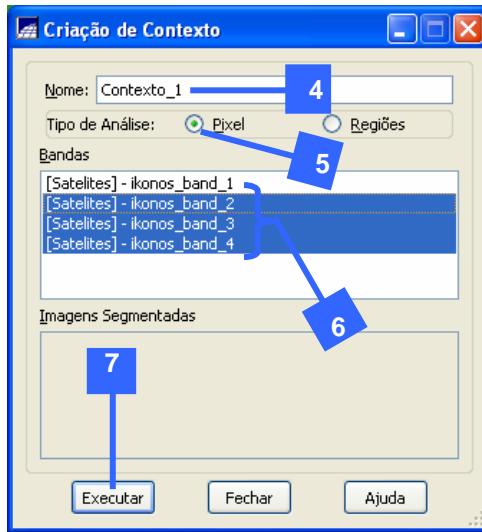
20. Na guia **Principal** do Spring, no **Painel de controle**, selecione a imagem intitulada **ikonos\_band\_2.tif**. e, na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **B** (azul).
21. Selecione a imagem intitulada **ikonos\_band\_3.tif** e, na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **R** (vermelho).
22. Selecione a imagem intitulada **ikonos\_band\_4.tif** e, na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **G** (verde).



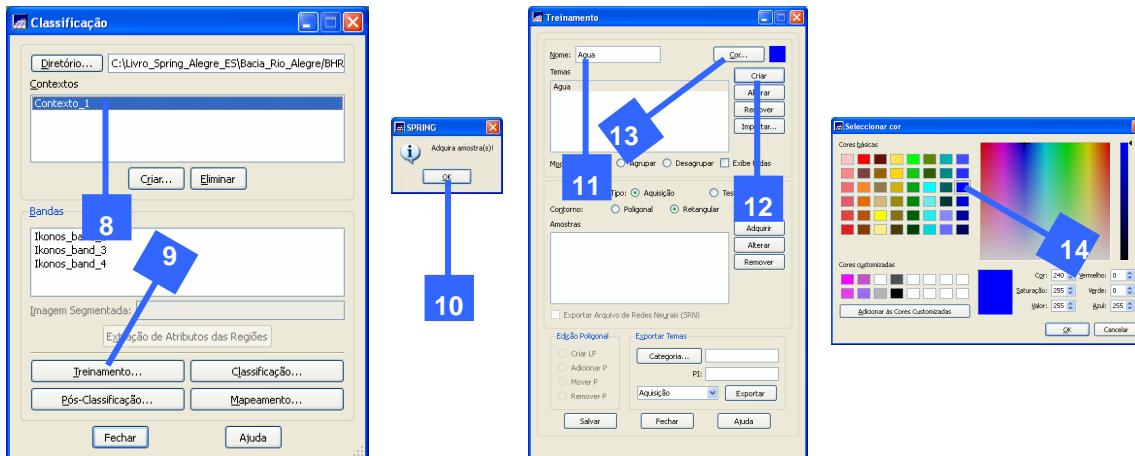
### ❖ OBTEÇÃO DAS AMOSTRAS DE TREINAMENTO

1. No menu **Imagen**, clique na opção **Classificação**.
2. Na caixa de diálogo **Classificação**, clique no botão **Diretório** e selecione do diretório de trabalho C:\Livro\_Spring\_Alegre\_ES\Bacia\_Rio\_Alegre\BHR\_Alegre\_Uso\_Solo.
3. Clique no botão **Criar**.
4. Na caixa de diálogo **Criação de Contexto**, para a opção **Nome**, digite **Contexto\_1**.
5. Em **Tipo de Análise**, marque a opção **Pixel**.
6. Selecione as imagens **ikonos\_band\_2**, **ikonos\_band\_3** e **ikonos\_band\_4**.
7. Clique no botão **Executar**.





8. De volta a caixa de diálogo **Classificação**, selecione **Contexto\_1**.
9. Clique no botão **Treinamento**.
10. Na caixa de diálogo **Spring**, clique sobre o botão **OK** para iniciar a aquisição das amostras de treinamento.
11. Na caixa de diálogo **Treinamento**, na caixa de entrada **Nome**, digite **Água**.
12. Clique no botão **Criar**.
13. Clique no botão **Cor**.
14. Na caixa de diálogo **Selecionar Cor**, selecione a cor **Azul**.



Repita os passos de 11 a 14 para criar as classes e cores mostradas na Tabela 7.3, com exceção da classe Água já criada anteriormente.

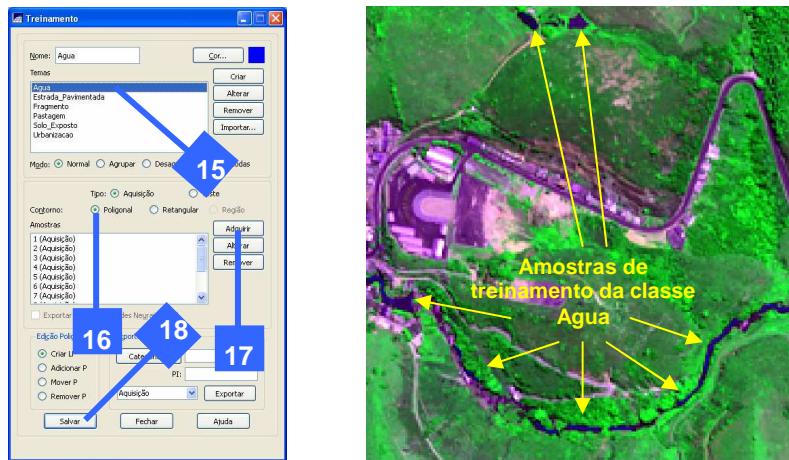
Tabela 7.3. Nome e cor das amostras de treinamento a serem criadas.

NOME	COR
Agua	azul
Estrada_Pavimentada	cinza
Fragmento	verde escuro
Solo_Exposto	marron
Pastagem	verde claro
Urbanizacao	vermelho

15. Selecione o tema **Água**.
16. Em **Contorno**, clique em **Polygonal**. Então inicie a digitalização das amostras de treinamento do tema **Água**. Para tanto, sobre a imagem, basta utilizar o botão esquerdo

do mouse para iniciar a digitalização. Para fechar o polígono, clique com o botão direito do mouse.

17. Após o fechamento do polígono, clique sobre o botão **Adquirir**.
18. Clique sobre o botão **Salvar**.



Repete os passos de 15 a 16 para digitalizar as amostras de treinamento dos outros temas.

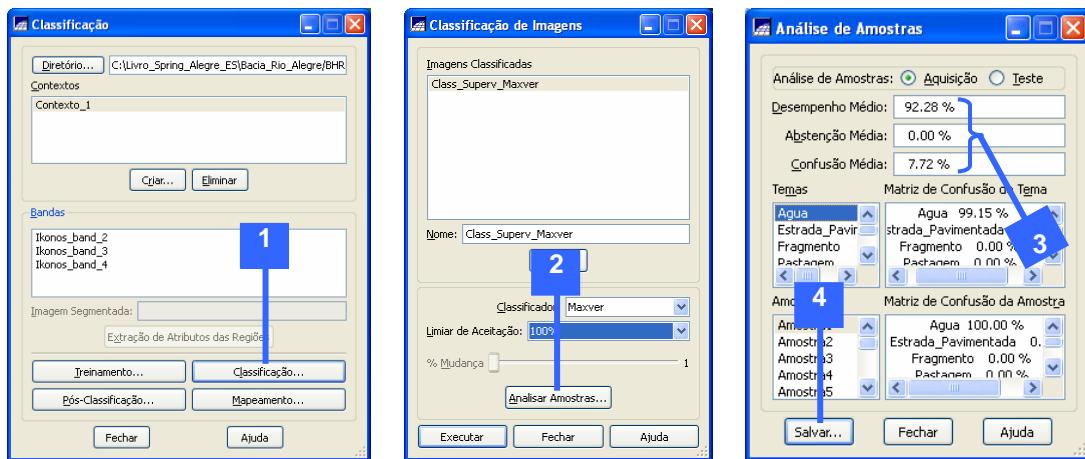
Abaixo, é demonstrado o resultado de todas as amostras digitalizadas.

**OBS:** Para exibir todas as amostras digitalizadas, em **Modo**, basta marcar a opção **Exibe Todas**.



#### ❖ AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DAS AMOSTRAS DE TREINAMENTO

1. Na caixa de diálogo **Classificação**, clique sobre o botão **Classificação**.
2. Na caixa de diálogo **Classificação de Imagens**, clique sobre o botão **Analisar Amostras**.
3. Na caixa de diálogo **Análise de Amostras** é possível observar que o **Desempenho Médio** da amostragem foi de **92,28 %** e que a **Confusão média** foi de **7,72 %**. É possível observar também a **Matriz de Confusão do Tema e da Amostra**.
4. Clique no botão **Fechar**.



**OBS:** Caso necessário, você pode salvar os resultados da análise das amostras, clicando sobre o botão **Salvar**. Abaixo, é demonstrado o resultado do salvamento com extensão .txt aberto no **Bloco de notas do Windows**.

**Amostras - Bloco de notas**

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO								
(colunas: dados de referencia)								
	Agua	Estrada_Pa	Fragmento	Pastagem	solo_Expos	Urbanizada	Abstencao	soma Lin.
Agua	116 1.08%	1 0.01%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	117
Estrada_Pa	8 0.07%	607 5.63%	3 0.03%	2 0.02%	16 0.15%	51 0.47%	0 0.00%	687
Fragmento	5 0.05%	0 0.00%	3667 34.00%	276 2.56%	4 0.04%	1 0.01%	0 0.00%	3953
Pastagem	0 0.00%	0 0.00%	213 1.98%	4478 41.52%	90 0.83%	2 0.02%	0 0.00%	4783
solo_Expos	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	24 0.22%	542 5.03%	15 0.14%	0 0.00%	581
Urbanizada	1 0.01%	97 0.90%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.22%	541 5.02%	0 0.00%	663
Soma col.	130	705	3883	4780	676	610	0	10784

	Exatidao do produtor	Exatidao do usuario
Agua	89.23%	99.15%
Estrada_Pa	86.10%	88.36%
Fragmento	94.44%	92.76%
Pastagem	93.68%	93.62%
solo_Expos	80.18%	93.29%
Urbanizada	88.69%	81.60%

Desempenho geral: 92.28% ← **Desempenho Geral (DG)** } VALORES A SEREM COMPROVADOS  
 Confusao media : 7.72%  
 Abstencao media : 0.00%  
 Estistica KHAM : 88.30% ← **Índice Kappa (K)** } NO PRÓXIMO TÓPICO  
 Variancia KHAM : 1.501e-005  
 Estistica TAU : 90.73%

## COMPROVAÇÃO MATEMÁTICA DOS RESULTADOS

Abaixo, é demonstrada a matriz de erros de classificação do exemplo da figura anterior:

	Agua	Estrada_Pavim.	Fragmento	Pastagem	Solo_Exposto	Urbanizacao	Soma Lin.
Agua	116	1	0	0	0	0	117
Estrada_Pavim.	8	607	3	2	16	51	687
Fragmento	5	0	3667	276	4	1	3953
Pastagem	0	0	213	4478	90	2	4783
Solo_Exposto	0	0	0	24	542	15	581
Urbanizada	1	97	0	0	24	541	663
Soma Col.	130	705	3883	4780	676	610	10784

A Exatidão Global ou Desempenho Geral (*DG*) é definido pela seguinte equação:

$$DG = \frac{D}{T}$$

Em que,

*D* = elementos da diagonal principal

*T* = número total de amostras

$$DG = \frac{116 + 607 + 3667 + 4478 + 542 + 541}{10784} = \frac{9951}{10784} = 0,923 = 92,28\%$$

O cálculo do Índice Kappa (*K*) é efetuado por meio da seguinte relação (CONGALTON; GREEN,1998):

$$K = \frac{D - Q}{T - Q} \quad \text{onde} \quad Q = \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}$$

em que,

$X_{i+}$  = total da linha para uma dada categoria informacional;

$X_{+i}$  = total da coluna para uma dada categoria informacional

De acordo com Congalton & Green (1998), as classificações das imagens geradas em sensoriamento remoto são identificadas em determinados intervalos de valores, conforme os níveis de aceitação na Tabela 7.4.

Tabela 7.4. Intervalo de aceitação dos resultados do índice Kappa.

<b>ÍNDICE KAPPA ( <i>K</i> )</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
$K \leq 0,4$	Pobre
$0,4 < K \leq 0,8$	Razoável
$K \geq 0,8$	Excelente

Logo, com o objetivo de calcular o índice Kappa (*K*), temos que:

$$T = 10784$$

$$D = 116 + 607 + 3667 + 4478 + 542 + 541 = 9951$$

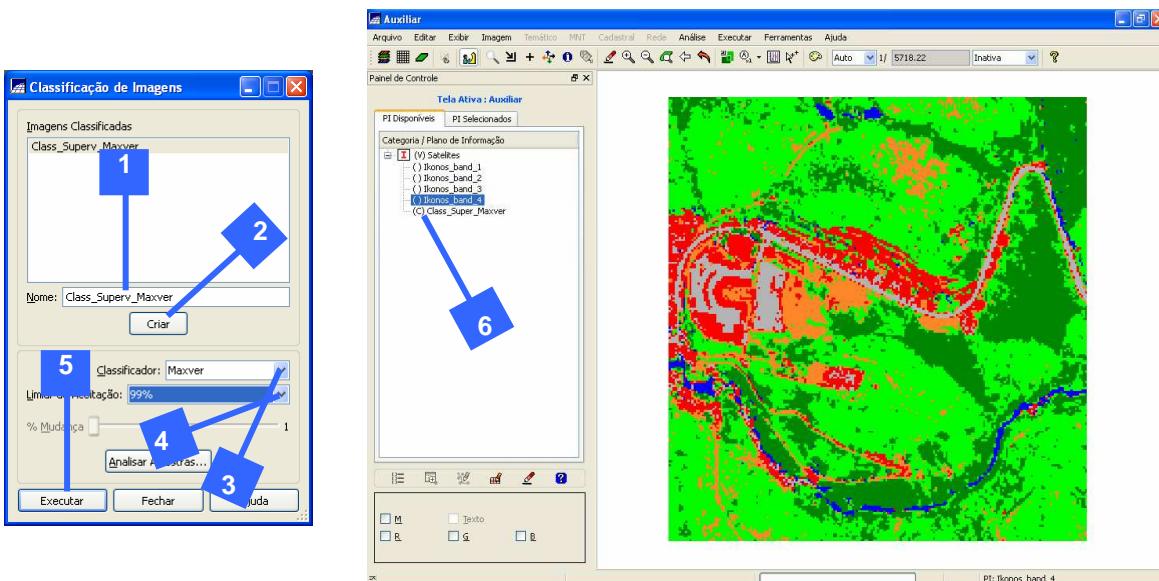
$$Q = \frac{\sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{T} = \frac{130 * 117 + 705 * 687 + 3883 * 3953 + 4780 * 4783 + 676 * 581 + 610 * 663}{10784} = 3663,66$$

$$K = \frac{D - Q}{T - Q} = \frac{9951 - 3663,66}{10784 - 3663,66} = \frac{6287,34}{7120,34} = 0,883 = 88,30\%$$

Conclui-se então que para nossa amostragem, o índice Kappa apresentou valor de 88,30 %, enquadrando-se como excelente.

❖ **CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA USANDO O MÉTODO DA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA (MAXVER)**

1. De volta à caixa **Classificação de Imagens**, na caixa de entrada **Nome**, digite **Class\_Superv\_Maxver**.
2. Clique sobre o botão **Criar**.
3. No dropdown da opção **Classificador**, selecione **Maxver** (algoritmo de classificação da Máxima Verossimilhança).
4. No dropdown da opção **Limiar de Aceitação**, selecione **99%**.
5. Clique sobre o botão **Executar**.
6. Na janela **Auxiliar**, visualize a imagem **Class\_Superv\_Maxver**.



**OBS:** O limiar de aceitação indica a % de "pixels" da distribuição de probabilidade de uma classe que será classificada como pertencente a esta classe. Um limite de 99%, por exemplo, engloba 99% dos "pixels", sendo que 1% serão ignorados (os de menor probabilidade), compensando a possibilidade de alguns "pixels" terem sido introduzidos no treinamento por engano, nesta classe, ou estarem no limite entre duas classes. Um limiar de 100% resultará em uma imagem classificada sem rejeição, ou seja, todos os "pixels" serão classificados.

❖ **PÓS-CLASSIFICAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA**

Aplica-se este procedimento em uma imagem classificada, com o objetivo de uniformizar os temas, ou seja, eliminar pontos isolados, classificados diferentemente de sua vizinhança. Com isso, gera-se uma imagem classificada com aparência menos ruidosa.

Em uma janela de 3 x 3 "pixels", o ponto central é avaliado quanto à frequência das classes (temas), em sua vizinhança. De acordo com os valores de peso e limiar definidos pelo usuário, esse ponto central terá ou não sua classe substituída pela classe de maior frequência na vizinhança.

- O peso varia de 1 a 7 e define o número de vezes que será considerada a frequência do ponto central.
- O limiar varia também de 1 a 7 e é o valor de frequência acima do qual o ponto central é modificado.

**EXEMPLO:**

Para a janela de uma imagem classificada será avaliado o "pixel" central pertencente à classe 2. Considera-se que:

- a) peso = 3
- b) limiar = 3

3	3	1
5	<b>2</b>	3
5	5	5

Obtém-se a seguinte frequência de classes:

Classe	1	2	3	5
Frequência	1	3	3	4

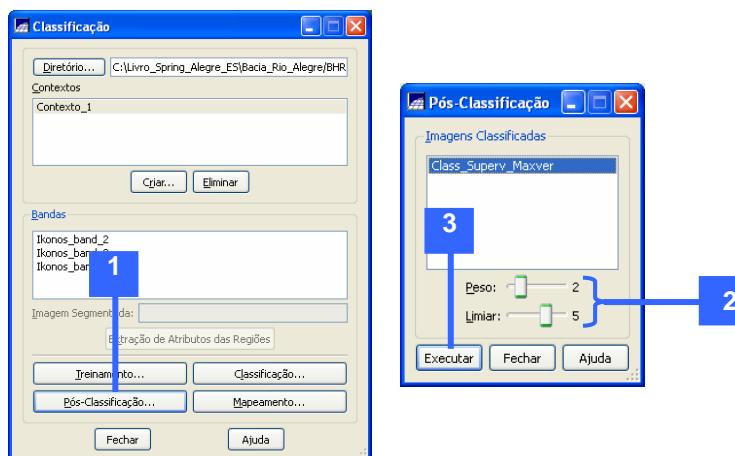
A tabela acima indica que a classe 1 ocorre uma vez; a classe 3 ocorre três vezes e a classe 5, quatro vezes. **A frequência da classe 2 é considerada 3**, pelo fato do peso definido ser **3**. O limiar igual a 3 fará com que o ponto central (de classe 2) seja atribuído **à classe 5**, cuja frequência (4) é maior que o limiar definido.

A janela classificada com seus temas uniformizados torna-se:

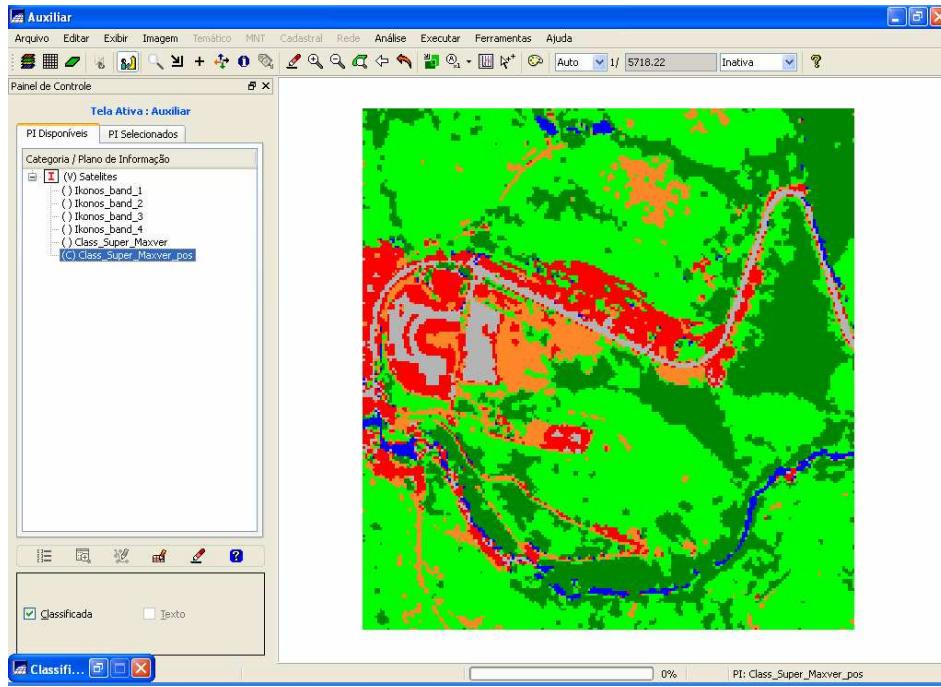
3	3	1
5	<b>5</b>	3
5	5	5

A definição de peso e limiar dependerá da experiência do usuário e das características da imagem classificada. Quanto menor o peso e menor o limiar, maior o número de substituições que serão realizadas.

1. Na caixa de diálogo **Classificação**, clique sobre o botão **Pós-Classificação**.
2. Na caixa de diálogo **Pós-classificação**, aceite os valores padrões de **Peso (2)** e **Limiar (5)**.
3. Clique sobre o botão **Executar**.



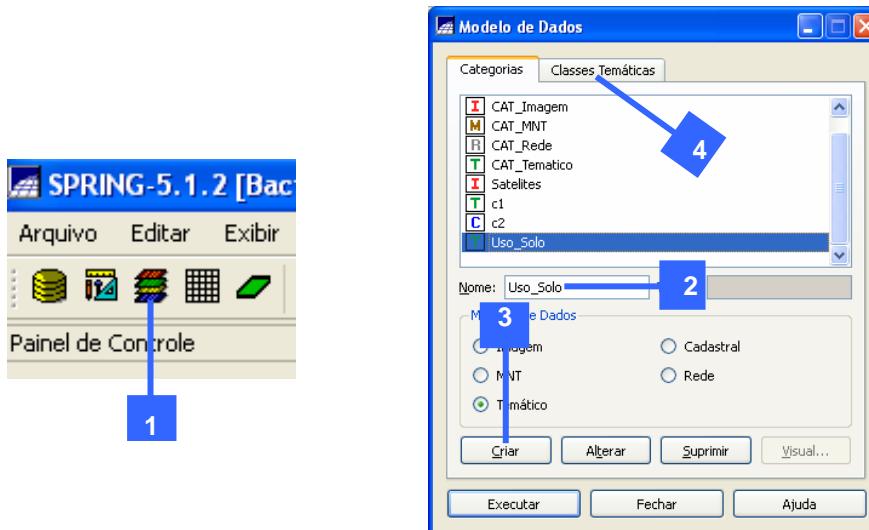
Abaixo, é demonstrado o resultado da imagem **Class\_Super\_Maxver\_pos** exibida na janela Auxiliar do Spring.



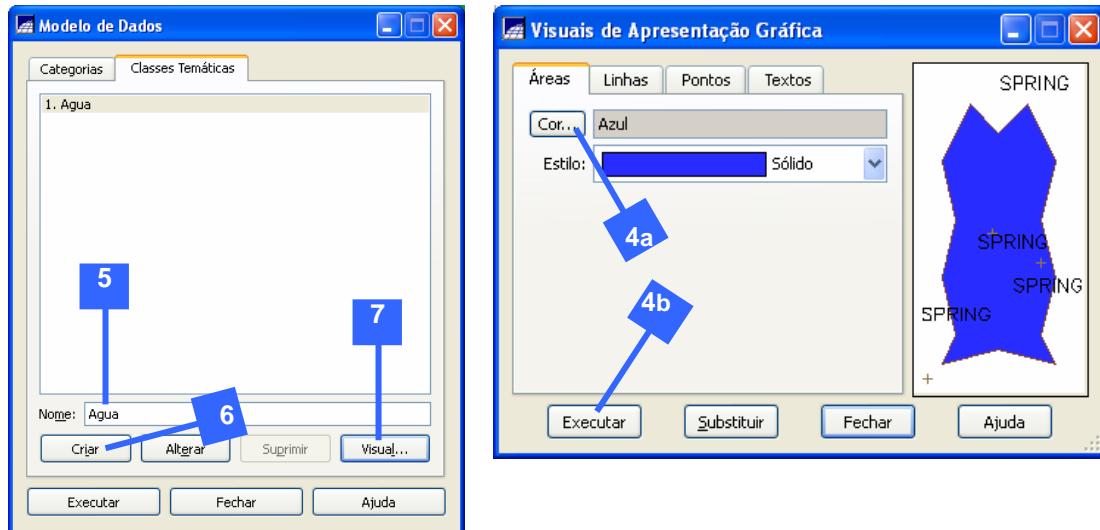
#### ❖ ELABORAÇÃO DO MODELO DE DADOS TEMÁTICOS

Com o intuito de elaborar o mapa temático (mapeamento) de uso e ocupação do solo, inicialmente, teremos que criar um novo modelo de dados temático, que irá conter classes com seus visuais de apresentação gráfica.

1. No Spring, clique na ferramenta **Modelo de dados**.
2. Na caixa de diálogo **Modelo de Dados**, na caixa de entrada da opção **Nome**, digite **Uso-Solo**.
3. Clique sobre o botão **Criar**.
4. Clique na guia **Classes Temáticas**.



5. Na guia **Classes Temáticas**, na caixa de entrada da opção **Nome**, digite **Aqua**.
6. Clique sobre o botão **Criar**.
7. Clique sobre o botão **Visual**.
8. Na guia **Áreas**, após clicar sobre o botão **Cor**, selecione a cor **Azul** e clique sobre o botão **Executar**.



Repita os passos de 5 a 8 para criar as classes e cores demonstradas na Tabela 7.5, com exceção da classe Agua já criada anteriormente.

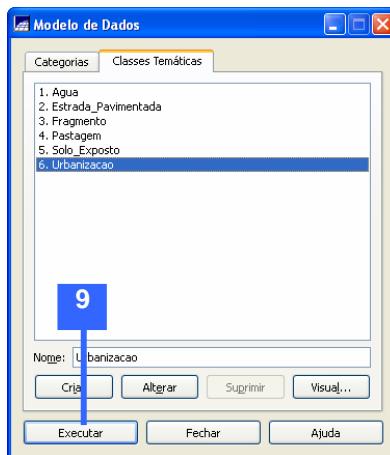
Tabela 7.5. Nome e cor das classes a serem criadas.

NOME DAS CLASSES	COR
Agua	azul
Estrada_Pavimentada	cinza
Fragmento	verde escuro
Solo_Exposto	marron
Pastagem	verde claro
Urbanizacao	vermelho

Abaixo, são demonstradas as apresentações gráficas das classes criadas.



9. Após a criação das classes temáticas com suas respectivas apresentações gráficas, na caixa diálogo **Modelo de Dados**, clique sobre o botão **Executar**.



❖ **ELABORAÇÃO DO MAPA TEMÁTICO (MAPEAMENTO) DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

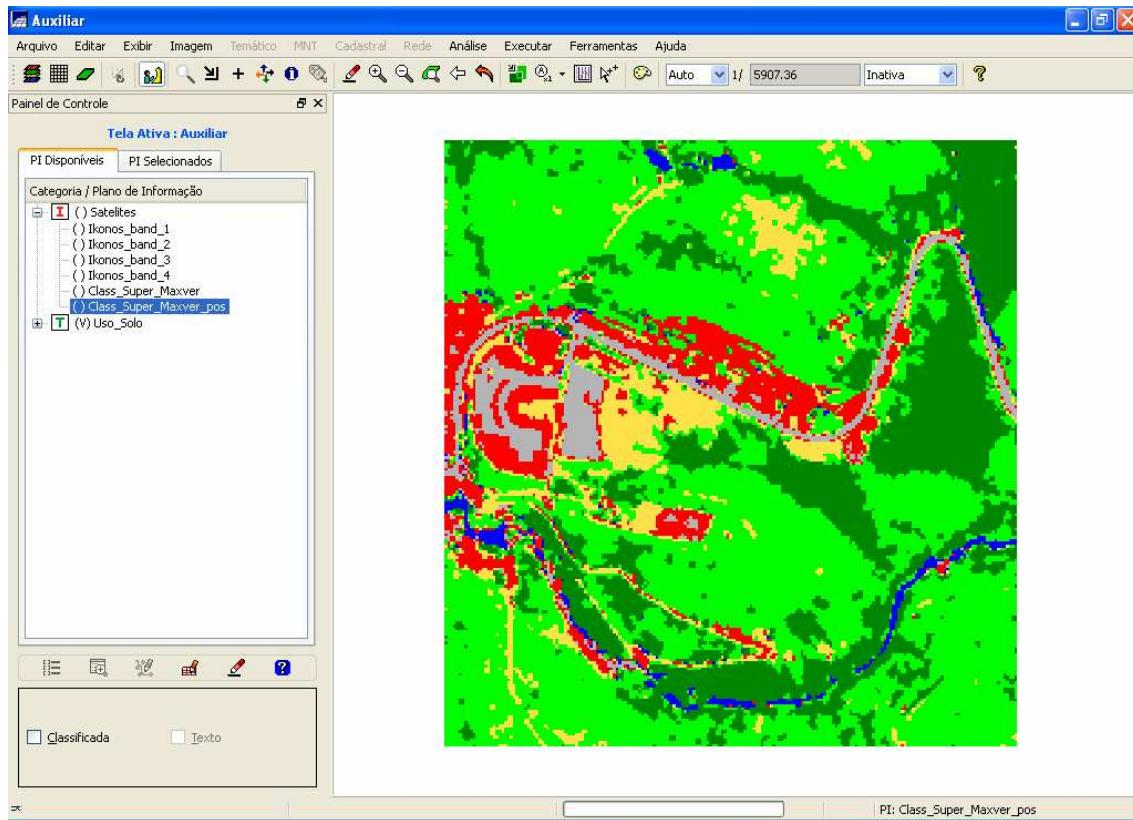
1. Na caixa de diálogo **Classificação**, clique no botão **Mapeamento**.
2. Na caixa de diálogo **Mapeamento para Classes**, no painel **Imagens Classificadas**, selecione **Class\_Super\_Maxver\_pos**.
3. No painel **Categorias**, selecione **Uso\_Solo**.
4. No painel **Temas**, selecione o tema **Agua**.
5. No painel **Classes**, selecione a classe **Agua**.

Repita os passos 4 e 5 para os outros temas e classes (Tabela 7.6), com exceção da classe Agua já criada anteriormente.

7.6. Temas e suas classes respectivas de associação.

TEMAS	CLASSES
Agua	azul
Estrada_Pavimentada	Estrada_Pavimentada
Fragmento	Fragmento
Solo_Exposto	Solo_Exposto
Pastagem	Pastagem
Urbanizacao	Urbanizacao

Abaixo, é demonstrada a categoria **Uso\_Solo** (modelo temático) com o plano de informação **Class\_Super\_Maxver\_pos-T** exibido na tela.

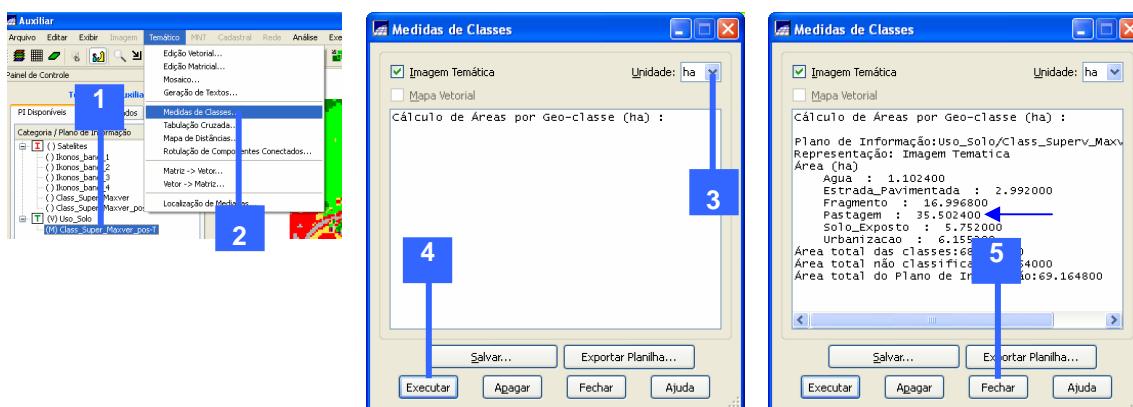


### ❖ **OBTENÇÃO DE ÁREAS EM HECTARES PARA AS CLASSES TEMÁTICAS**

1. Na categoria **Uso\_Solo**, selecione o plano de informação **Class\_Super\_Maxver\_pos-T**.
2. No menu **Temático**, clique na opção **Medida de Classes**.
3. Na caixa de diálogo **Medidas de Classes**, no dropdown **Unidades**, selecione **ha**.
4. Clique no botão **Executar**.

Veja que a classe **Pastagem** apresenta a maior área de uso que equivale a **35,50 ha**.

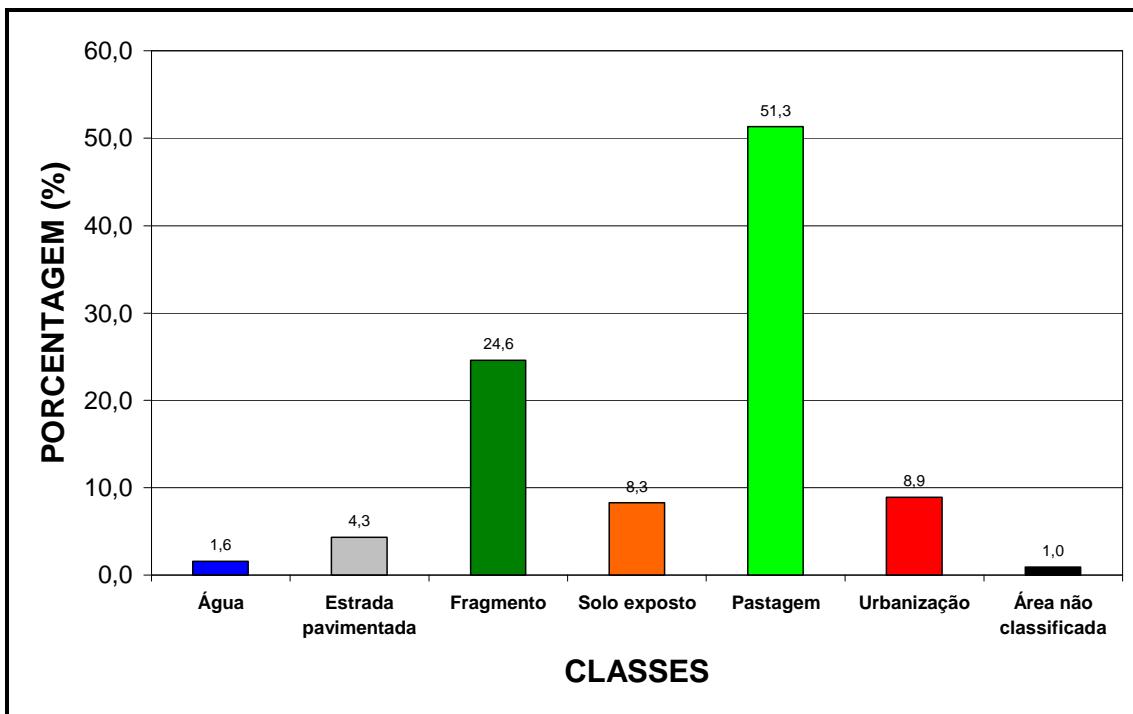
5. Clique sobre o botão **Fechar**.



Os resultados estatísticos da classificação supervisionada, usando o método da Máxima Verossimilhança (MAXVER), são demonstrados na Tabela 7.7 e Figura 7.8.

**Tabela 7.7. Resultados estatísticos da classificação supervisionada usando o método da Máxima Verossimilhança (MAXVER).**

<b>CLASSE</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>PORCENTAGEM (%)</b>
Água	1,1	1,6
Estrada pavimentada	3,0	4,3
Fragmento	17,0	24,6
Solo exposto	5,8	8,3
Pastagem	35,5	51,3
Urbanização	6,2	8,9
Área não classificada	0,7	1,0
<b>TOTAL</b>	<b>69,2</b>	<b>100,0</b>



**Figura 7.8. Resultados estatísticos da classificação supervisionada usando o método da Máxima Verossimilhança (MAXVER).**

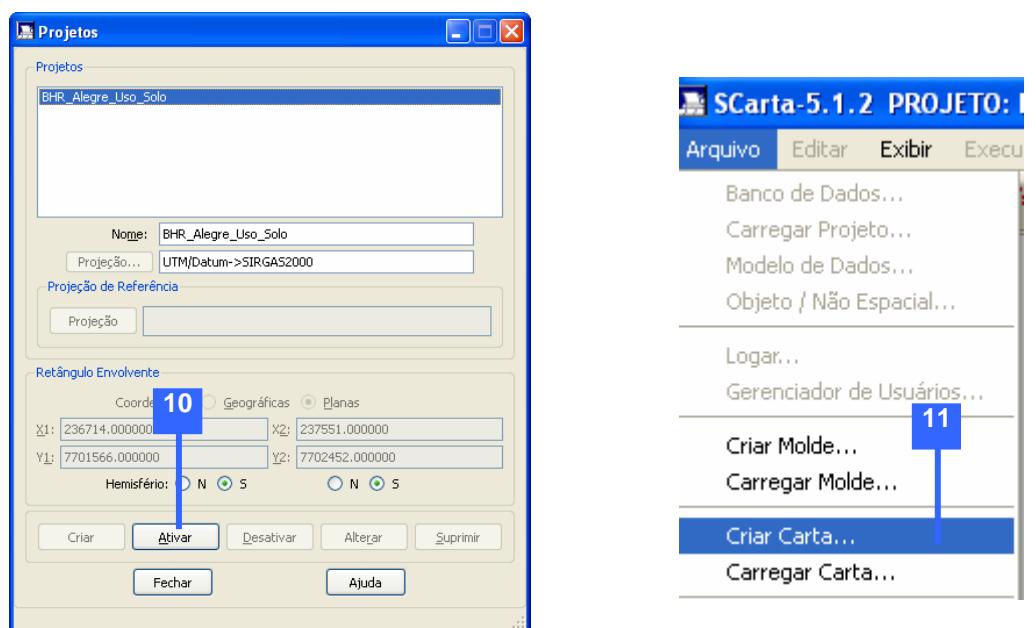
❖ **ELABORAÇÃO DO LAYOUT DO MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

Para elaborar o layout do mapa de uso e ocupação do solo, será utilizado o programa SCARTA 5.1.2 PORTUGUÊS. Logo, para iniciar o SCARTA 5.1.2 PORTUGUÊS, você deve seguir os seguintes passos:

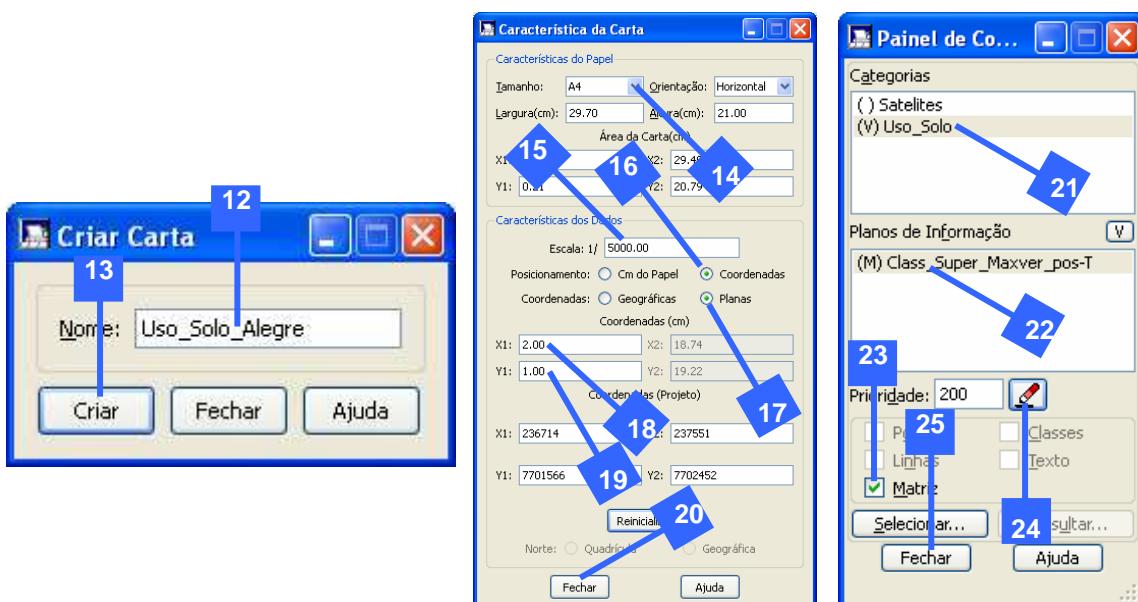
6. Clique no botão **Iniciar** da barra de estado do Windows.
7. Clique sobre o nome **Programas**.
8. Clique sobre o nome **Spring 5.1.2 Português \_x86**.
9. Clique sobre o nome **Scarta 5.1.2 Português**.
10. No **Scarta 5.1.2 Português**, no menu **Arquivo**, clique sobre a opção **Banco de Dados** .



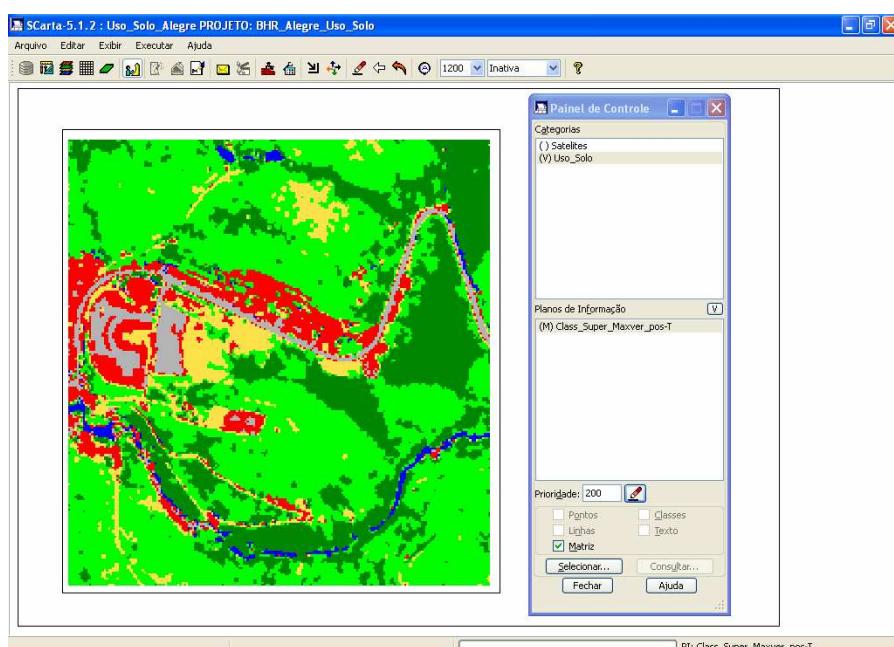
11. Na caixa de diálogo **Banco de Dados**, clique no botão **Diretório** e ative o diretório **C:\Livro\_Spring\_Alegre\_ES**.
12. No painel **Banco de Dados**, selecione **Bacia\_Rio\_Alegre**.
13. Clique no botão **Ativar**.
14. No menu **Arquivo**, clique sobre a opção **Carregar Projeto**.
15. Na caixa de diálogo **Projeto**, clique sobre o botão **Ativar**.
16. No menu **Arquivo**, clique sobre a opção **Criar Carta**.



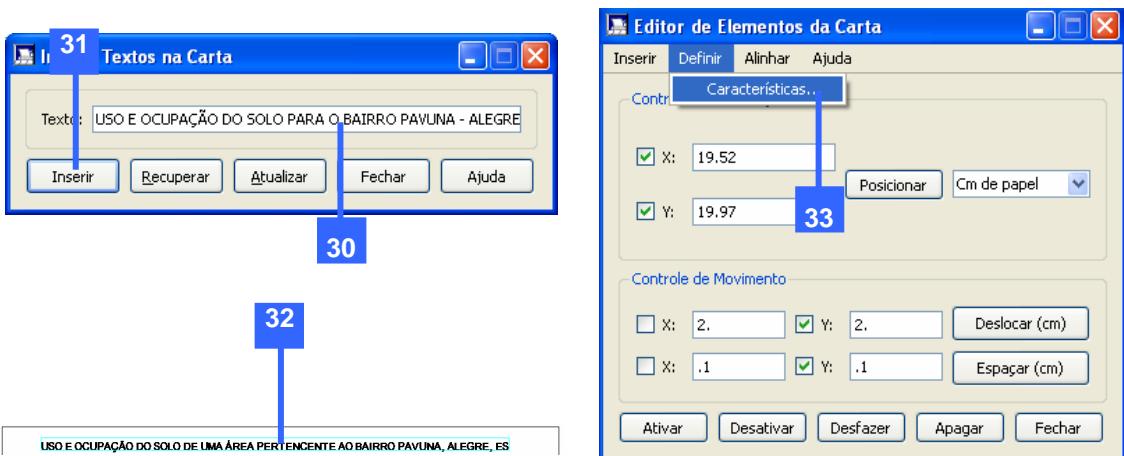
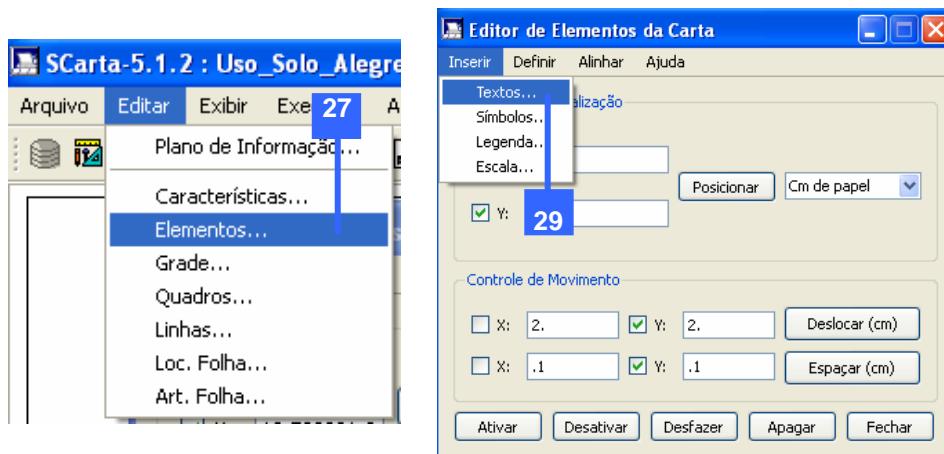
17. Na caixa de diálogo **Criar Carta**, na caixa de entrada da opção **Nome**, digite **Uso\_Solo\_Alegre**.
18. Clique sobre o botão **Criar**.
19. Na caixa de diálogo **Característica da Carta**, no dropdown da opção **Tamanho**, selecione **A4**.
20. Na caixa de entrada da opção **Escala**, digite **5000**.
21. Em **Posicionamento**, marque a opção **Coordenadas**.
22. Em **Coordenadas**, marque a opção **Planas**.
23. Em **X1**, digite **2**.
24. Em **Y1**, digite **1**.
25. Clique sobre o botão **Fechar**.
26. Na janela **Painel de Controle**, em **Categorias**, selecione **Uso\_Solo**.
27. Em **Planos de Informação**, selecione **Class\_Super\_Maxver\_pos-T**.
28. Marque a opção **Matriz**.
29. Clique sobre o botão **Desenhar** .
30. Clique sobre o botão **Fechar**.

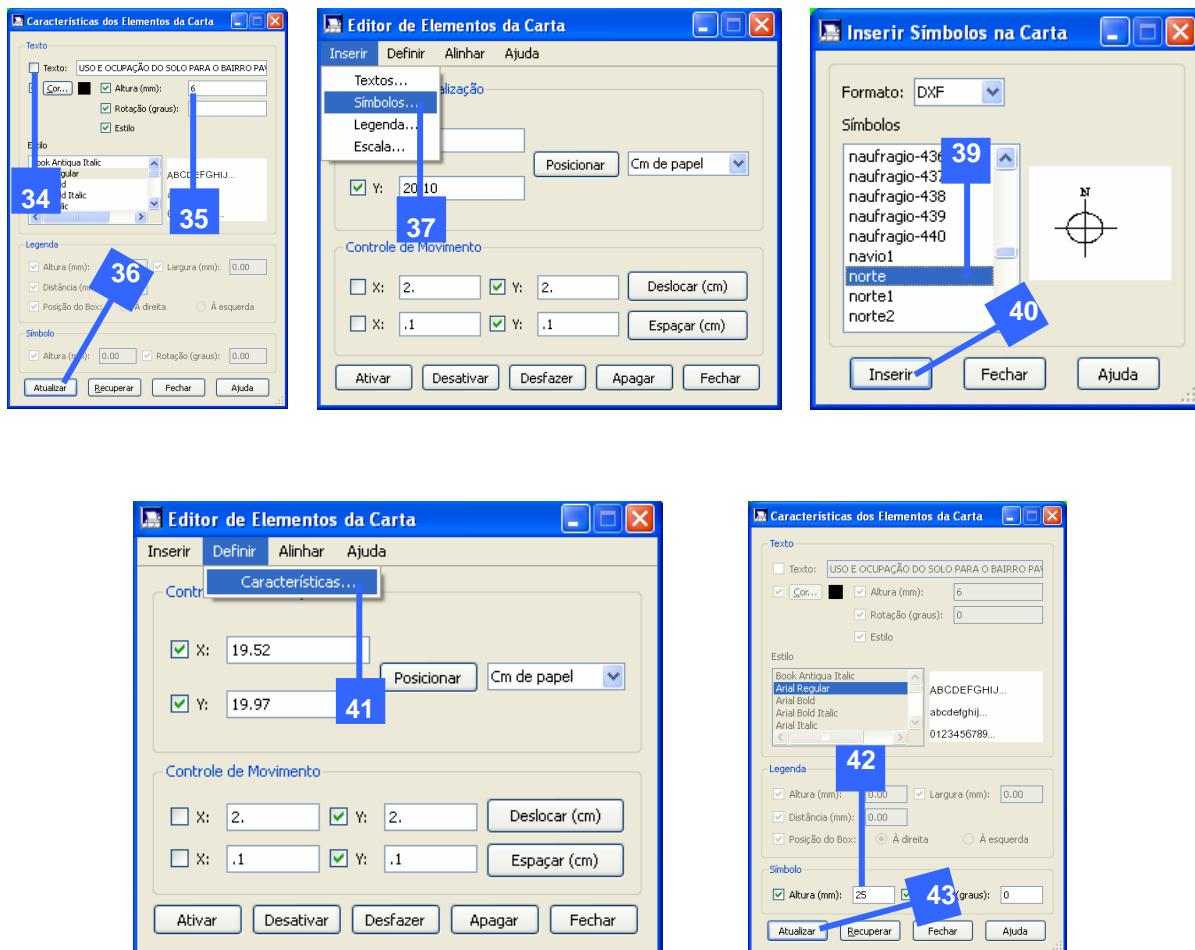


31. Abaixo, é demonstrada a imagem temática **Class\_Super\_Maxver\_pos-T** exibida no layout.



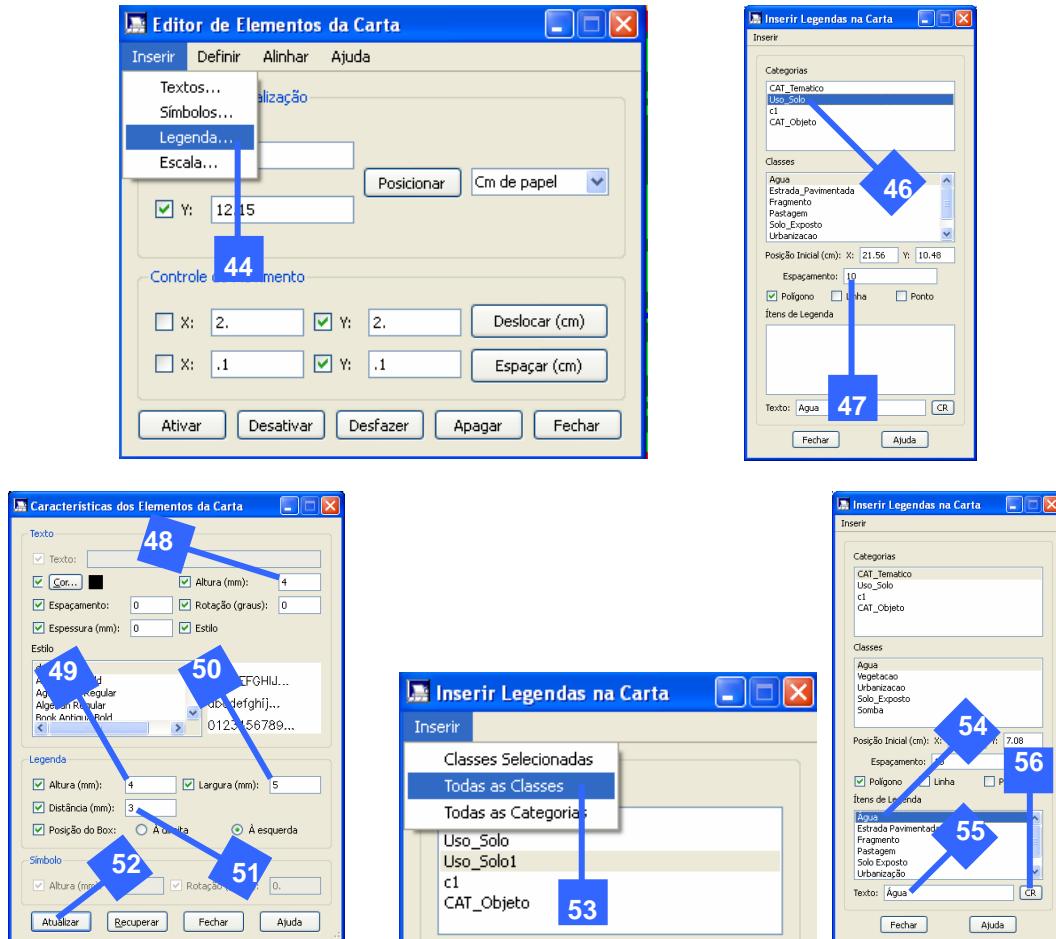
32. No menu **Editar**, clique na opção **Elementos**.
33. Dê um clique duplo na parte superior central do layout. Observe que os valores de **X** e **Y** serão modificados, automaticamente, sendo que, nessa posição o título do layout será inserido.
34. Na caixa de diálogo **Editor de Elementos da Carta**, no menu **Inserir**, clique na opção **Textos**.
35. Na caixa de diálogo **Inserir Textos na Carta**, na caixa de entrada **Texto**, digite **USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA O BAIRRO PAVUNA – ALEGRE – ES**.
36. Clique no botão **Inserir**.
37. **Selecione o título do layout** fazendo com que este fique com a **borda azul**.
38. Na caixa de diálogo **Editor de Elementos da Carta**, no menu **Definir**, clique em **Características**.
39. Na caixa de diálogo **Características dos Elementos da Carta**, desmarque a opção **Texto**.
40. Na caixa de entrada **Altura**, digite **6**.
41. Clique no botão **Atualizar**.
42. No menu **Inserir**, clique na opção **Símbolos**.
43. Dê um clique duplo na parte inferior direita do layout. Observe que os valores de **X** e **Y** serão modificados, automaticamente; sendo que, nessa posição, a seta de Norte do layout será inserida.
44. Na caixa de diálogo **Inserir Símbolos na Carta**, selecione o símbolo **norte**.
45. Clique no botão **Inserir**.
46. Na caixa de diálogo **Editor de Elementos da Carta**, no menu **Definir**, clique em **Características**.
47. Na caixa de diálogo **Características dos Elementos da Carta**, na caixa de entrada **Altura**, digite **25**.
48. Clique sobre o botão **Atualizar**.





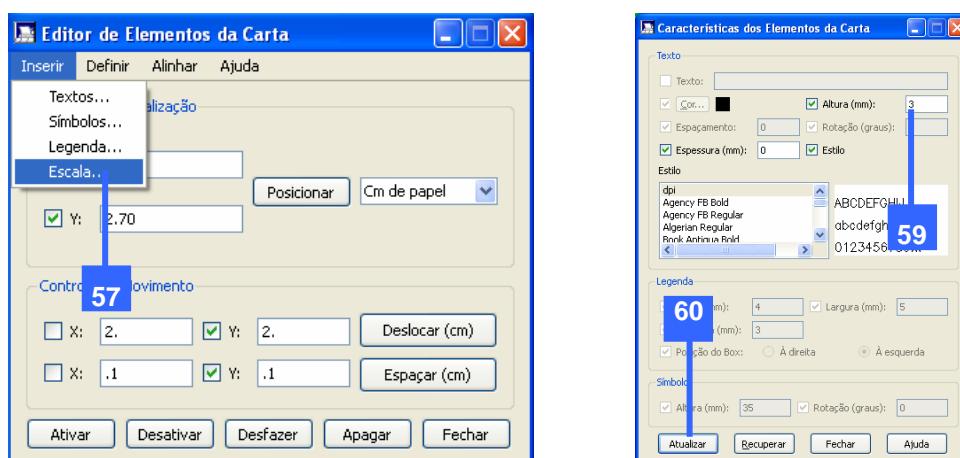
49. Na caixa de diálogo **Editor de Elementos da Carta**, no menu **Inserir**, clique na opção **Legenda**.
50. Dê um clique duplo na **parte central direita** do layout. Observe que os valores de **X** e **Y** serão modificados, automaticamente; sendo que, nessa posição, a legenda do layout será inserida.
51. Na caixa de diálogo **Inserir Legendas na Carta**, no painel **Categorias**, selecione a categoria temática **Uso\_Solo**.
52. Na caixa de entra **Espaçamento**, digite **10**.
53. Na caixa de diálogo **Características dos Elementos da Carta**, na caixa de entrada **Altura**, digite **4**.
54. No painel **Legenda**, na caixa de entrada **Altura** (altura da caixinha da legenda), digite **4**.
55. No painel **Legenda**, na caixa de entrada **Largura** (largura da caixinha da legenda), digite **5**.
56. No painel **Legenda**, na caixa de entrada **distância** (distância da primeira letra até a caixinha da legenda), digite **3**.
57. Clique sobre o botão **Atualizar**.
58. De volta a caixa de diálogo **Inserir Legendas na Carta**, no menu **Inserir**, clique sobre a opção **Todas as classes**.
59. No painel **Itens de Legenda**, selecione a classe **Água**.
60. Na caixa de entrada **Texto**, digite o nome correto da classe que é **Água** (com acento agudo na letra A).
61. Clique sobre o botão **CR**.

Retape os passos de 54 a 56 para as outras classes.



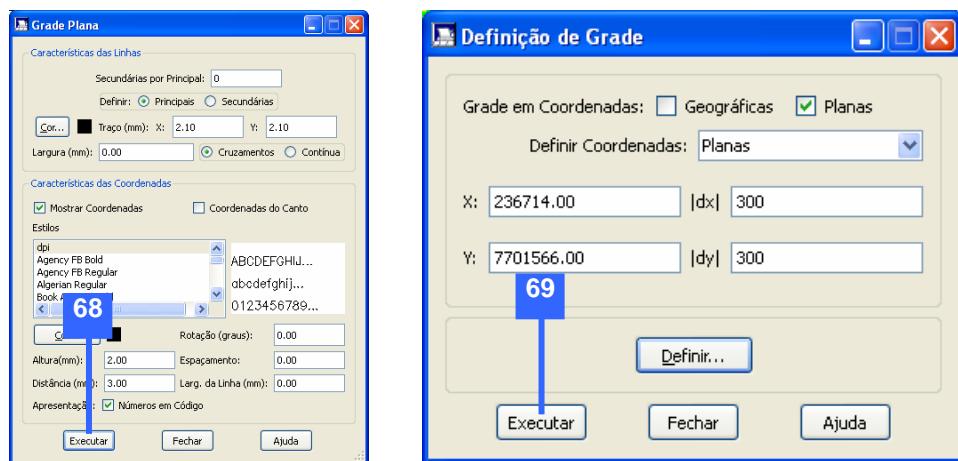
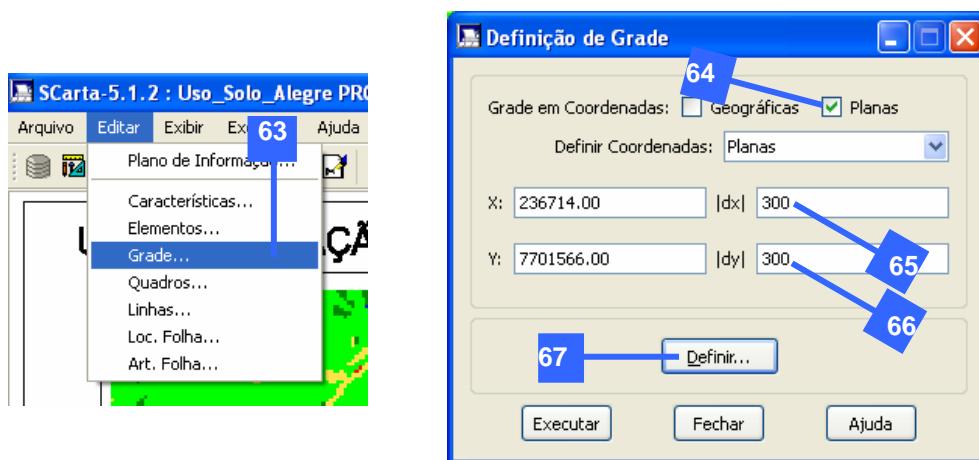
62. Na caixa de diálogo **Editor de Elementos da Carta**, no menu **Inserir**, clique sobre a opção **Escala**.
63. Dê um clique duplo na parte inferior direita do layout. Observe que os valores de **X** e **Y** serão modificados automaticamente, sendo que nesta posição a escala do layout será inserida.
64. Na caixa de diálogo **Características dos Elementos da Carta**, na caixa de entrada da opção **Altura** (altura da escala), digite 3.
65. Clique sobre o botão **Atualizar**.
66. Na caixa de diálogo **Editor de Escalas**, selecione o tipo de escala **tipo-7**.
67. Clique sobre o botão **Inserir**.

Veja o título, seta de Norte, legenda e escala já inseridos no layout.

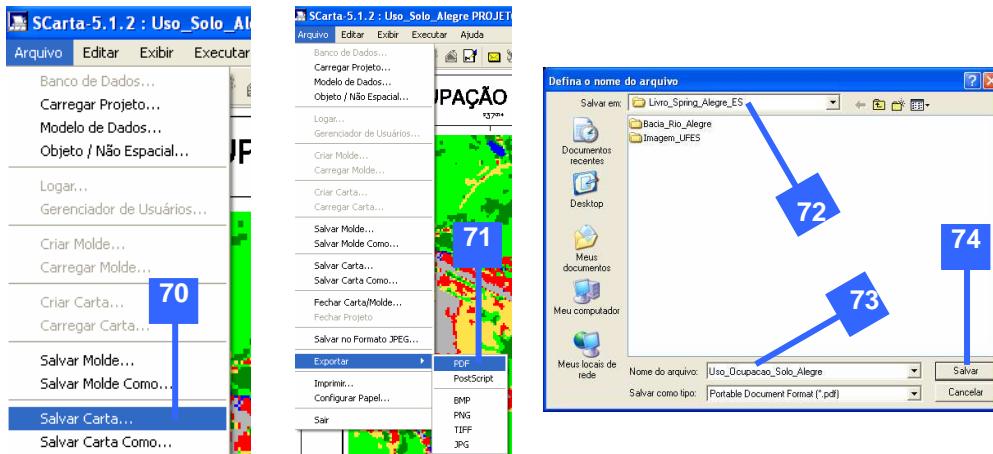




68. Finalmente, vamos inserir a grade do mapa do layout. Logo, no **Scarta**, no menu **Editar**, clique sobre a opção **Grade**.
69. Na caixa de diálogo **Definição de Grade**, na opção **Grade em Coordenadas**, selecione **Planas**.
70. Na caixa de entrada **|dx|** digite **300**.
71. Na caixa de entrada **|dy|** digite **300**.
72. Clique no botão **Definir**.
73. Na caixa de diálogo **Grade Plana**, aceite as opções já padronizadas e clique sobre o botão **Executar**.
74. De volta a caixa de diálogo **Definição de Grade**, clique sobre o botão **Executar**.



75. No **Scarta**, no menu **Arquivo**, clique sobre a opção **Salvar Carta**.
76. Novamente, no menu **Arquivo**, aponte para **Exportar** e clique em **PDF**.
77. Na caixa de diálogo **Defina o nome do Arquivo**, vá para o diretório de trabalho **C:\Livro\_Spring\_Alegre\_ES**.
78. Na caixa de entrada **Nome do arquivo**, digite **Uso\_Ocupacao\_Solo\_Alegre..**
79. Clique sobre o botão **Salvar**



A Figura 7.9 mostra o layout final elaborado após a execução das etapas anteriores.

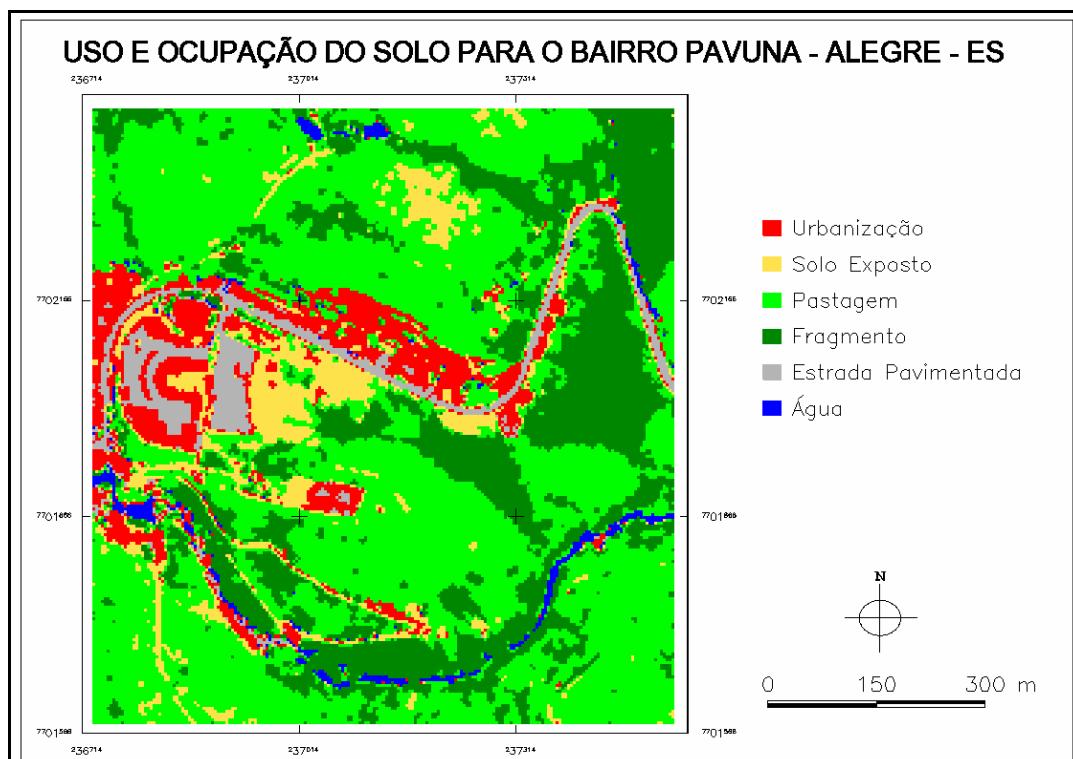


Figura 7.9. Modelo do layout elaborado no programa Scarta.

## **7.7. MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO USANDO O MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE BHATTACHARYA**

Neste tópico será apresentado o método de classificação supervisionada de Bhattacharya, que irá depender de amostras de treinamento obtidas, automaticamente, por meio da técnica de segmentação de imagens mostradas a seguir.

### **❖ SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS**

O processo de segmentação representa, geralmente, o primeiro passo no sentido de preparar as imagens de satélite para uma futura classificação temática, passo este que pode determinar o eventual sucesso ou fracasso de uma análise. O ato de segmentar uma imagem consiste em agrupar pixels com características similares em termos tonais e texturais, formando regiões homogêneas. Essas regiões são correspondentes às feições da superfície terrestre e irão servir de base para a análise e cartografia temática (DLUGOSZ et al., 2008).

A segmentação automática, em geral, baseia-se nas características de descontinuidade e similaridade dos tons de cinza de uma imagem. O método que avalia a descontinuidade considera a mudança abrupta dos valores de cinza e o método por similaridade fundamenta-se na agregação de *pixels* em função da sua semelhança com os *pixels* vizinhos (GONZÁLES; WINTZ, 1987). A segmentação por crescimento de regiões se baseia nesse segundo método.

Conforme Venturieri e Santos (1998), citado por Corte et al., 2008, a operação de segmentação por crescimento de regiões consiste em agrupar *pixels* com características similares em termos tonais e texturais, formando regiões homogêneas. Desta forma, a imagem é particionada em um conjunto de regiões correspondentes às feições da superfície terrestre, que irão servir de base para a análise e cartografia temática. Os resultados desse processo são áreas com aspecto contínuo, onde cada área possui características espectrais bem diferentes das vizinhas que a cercam.

De acordo com González & Woods (2000), citado por Dlugosz et al., 2008, a seleção de critérios de similaridade é dependente do problema em consideração e também do tipo de dados (imagens) disponíveis. Para Coutinho (1997), citado por Dlugosz et al. 2008, a definição de valores para os limiares na segmentação de imagens depende, principalmente, do conhecimento dos padrões de repartição espacial dos objetos de cada área e da definição da generalização cartográfica ideal, em função da escala cartográfica da abordagem realizada. Contempla uma etapa que exige maior atenção devido à inexistência de valores padronizados para as variáveis do algoritmo e, também, pode influenciar diretamente na acurácia dos resultados da segmentação.

Se os valores dos limiares forem muito baixos, o processo não atribuirá pixels às classes (fragmentação excessiva). Por outro lado, se forem muito altos, pixels representativos de diferentes classes serão incorretamente agrupados (NASCIMENTO; ALMEIDA FILHO, 1996, citado por DLUGOSZ et al. 2008).

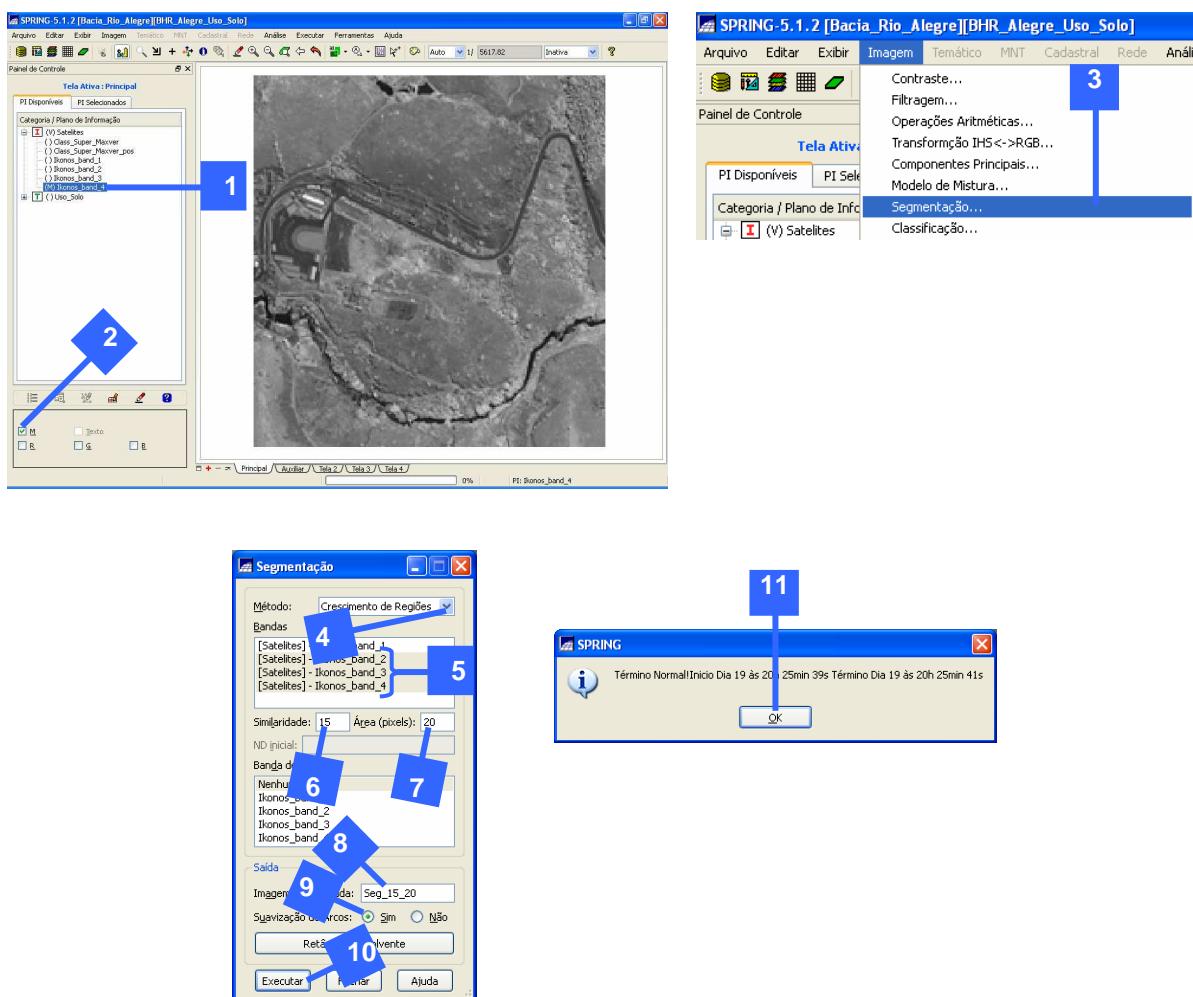
Com o objetivo de realizar a segmentação automática de bandas espectrais do satélite IKONOS para nossa área de estudo, execute os passos a seguir:

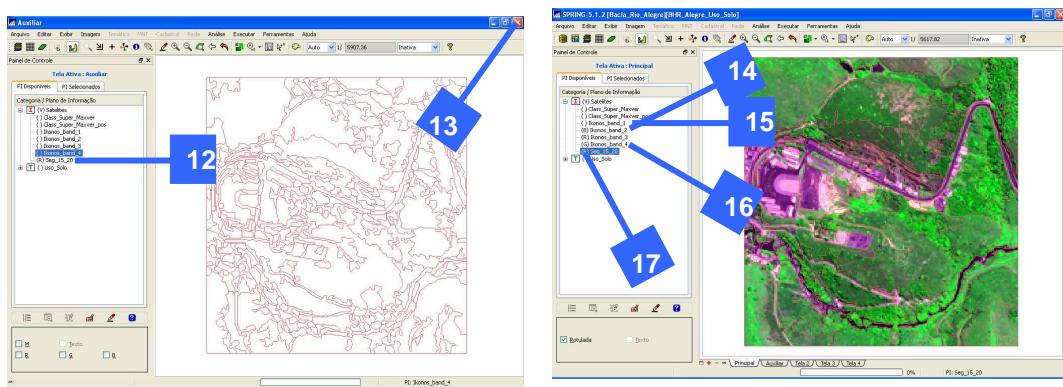
1. No Spring, na categoria **Satélites**, selecione a imagem **Ikonos\_band\_4**.
2. Marque a opção **M** (visualizar em níveis de cinza).
3. No menu **Imagen**, clique sobre a opção **Segmentação**.
4. Na caixa de diálogo **Segmentação**, no dropdown **Método**, selecione **Crescimento de Regiões**.
5. No painel **Bandas**, selecione as imagens **Ikonos\_band\_2**, **Ikonos\_band\_3**, **Ikonos\_band\_4**.

Como vimos anteriormente, a similaridade é referente à proximidade radiométrica entre pixels, correspondendo ao valor da distância euclidiana mínima entre as médias das regiões, abaixo

das quais duas regiões são consideradas similares e, então, agrupadas. Já o limiar de área é o número mínimo de pixels para que uma região seja individualizada, sendo portanto, o tamanho mínimo que cada segmento deve possuir na operação de segmentação.

6. Na caixa de entrada **Similaridade**, digite **15**.
7. Na caixa de entrada **Área**, digite **20**.
8. Na caixa de entrada **Imagen segmentada**, digite **Seg\_15\_20**.
9. Para a opção **Suavização de Arcos**, marque **Sim**.
10. Clique sobre o botão **Executar**.
11. Após o processamento, clique sobre o botão **OK**.
12. Na janela **Auxiliar**, veja as amostras segmentadas.
13. Na janela **Auxiliar**, clique sobre o botão **Fechar**.
14. Na guia **Principal** do Spring, no **Painel de controle**, selecione a imagem intitulada **ikonos\_band\_2.tif** e, na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **B** (azul).
15. Selecione a imagem intitulada **ikonos\_band\_3.tif** e, na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **R** (vermelho).
16. Selecione a imagem intitulada **ikonos\_band\_4.tif** e, na parte inferior do Spring, marque a caixa representativa da letra **G** (verde).
17. Selecione a imagem **Seg\_15\_20** e marque a opção **Rotulada**.





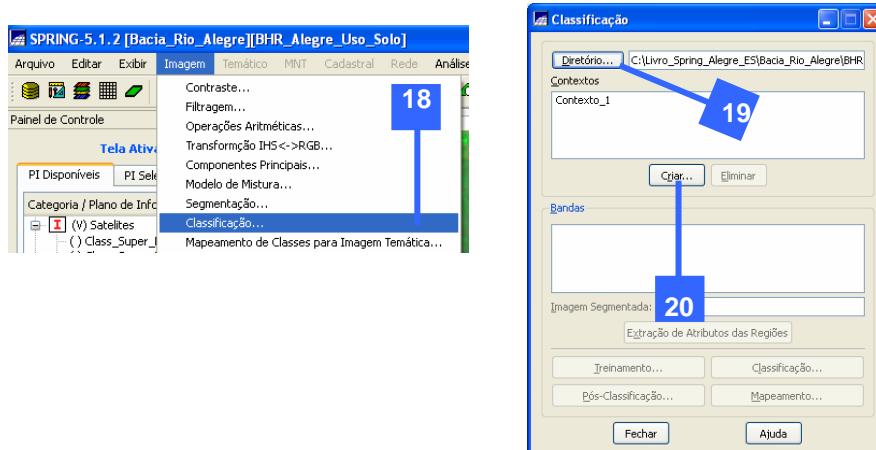
Após a verificação do resultado da segmentação, se o resultado não for satisfatório, teste outros valores de similaridade e área.

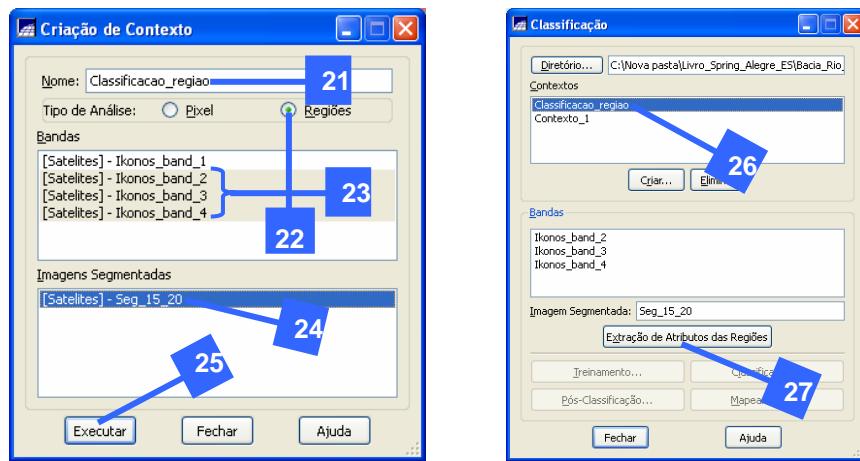
Agora, estamos prontos para iniciar a criação do arquivo de contexto necessário para a realização da classificação supervisionada pelo método de Bhattacharya.

18. No menu **Imagen**, clique na opção **Classificação**.
19. Na caixa de diálogo **Classificação**, clique sobre o botão **Diretório** e vá para o diretório **C:\Livro\_Spring\_Alegre\_ES\Bacia\_Rio\_Alegre\BHR\_Alegre\_Uso\_Solo**.
20. Clique sobre o botão **Criar**.
21. Na caixa de diálogo **Criação de Contexto**, na caixa de entrada **Nome**, digite **Classificação\_regiao**.
22. No painel **Tipo de Análise**, marque a opção **Regiões**.
23. No painel **Bandas**, selecione as imagens **Ikonos\_band\_2**, **Ikonos\_band\_3** e **Ikonos\_band\_4**.
24. No painel **Imagens Segmentadas**, marque a opção **Seg\_15\_20**.
25. Clique sobre o botão **Executar**.

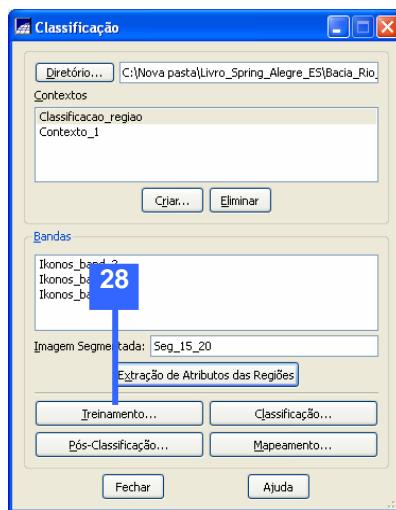
Agora, estamos prontos para iniciar a Extração de Atributos das Regiões.

26. Novamente, na caixa de diálogo **Classificação**, no painel **Contextos**, marque a opção **Classificação\_regiao**.
27. Clique sobre o botão **Extração de Atributos das Regiões**.

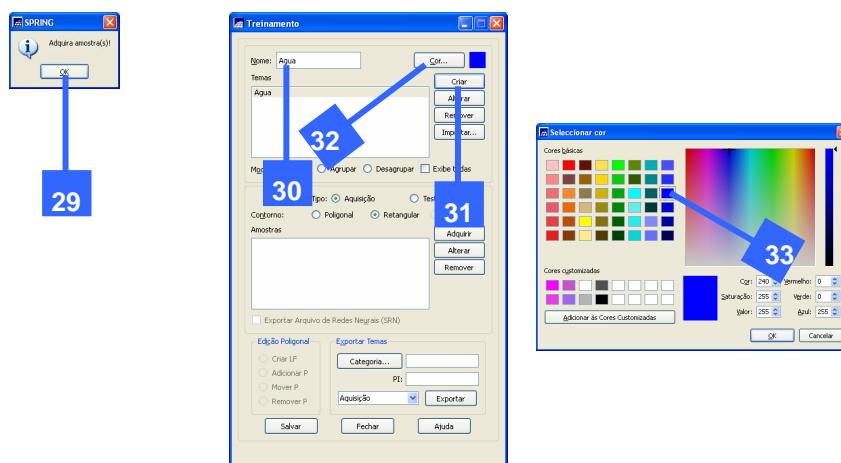




28. Na caixa de diálogo **Classificação**, clique sobre o botão **Treinamento**.



29. Na caixa de diálogo **Spring**, clique sobre o botão **OK** para iniciar a aquisição das amostras de treinamento.
30. Na caixa de diálogo **Treinamento**, na caixa de entrada **Nome**, digite **Água**.
31. Clique no botão **Criar**.
32. Clique no botão **Cor**.
33. Na caixa de diálogo **Selecionar Cor**, selecione a cor **Azul**.



Reita os passos de 30 a 33 para criar as cores mostradas na Tabela 7.8.

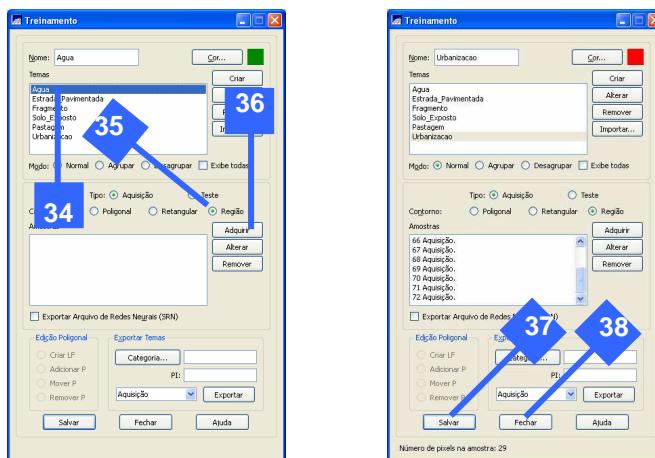
Tabela 7.8. Nome e cor das amostras de treinamento a serem criadas.

NOME	COR
Água	azul
Estrada_Pavimentada	cinza
Fragmento	verde escuro
Solo_Exposto	marron
Pastagem	verde claro
Urbanizacao	vermelho

34. Selecione o tema **Água**.
35. Em **Contorno**, clique sobre a opção **Região** (delimitada pela segmentação Seg\_15\_20)
- 36 Sobre a imagem segmentada, basta clicar com o botão esquerdo do mouse sobre o polígono representativo do tema **Água**. Após a seleção de cada polígono, clique sobre o botão **Adquirir**. Adquirir amostras suficientes para o tema **Água**.

Reita os passos de 34 a 36 para selecionar amostras dos outros temas.

37. Clique sobre botão **Salvar**.
38. Clique sobre o botão **Fechar**.



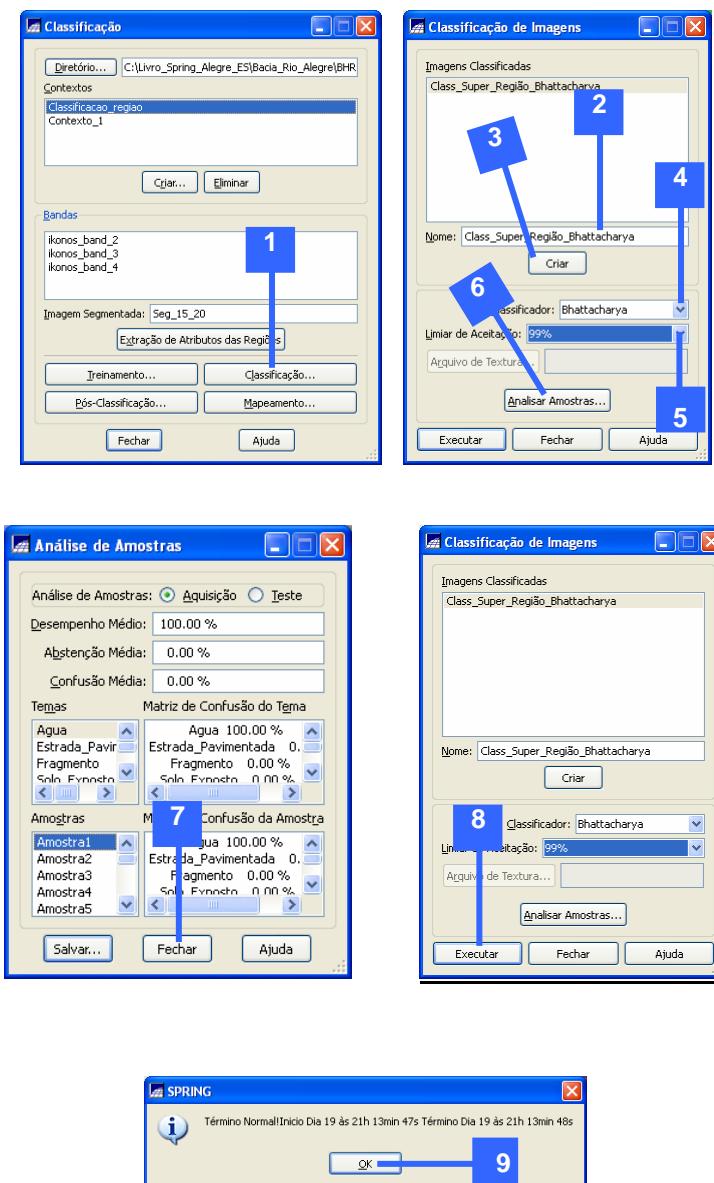
A Figura 7.10 mostra todas as amostras de treinamento selecionadas.



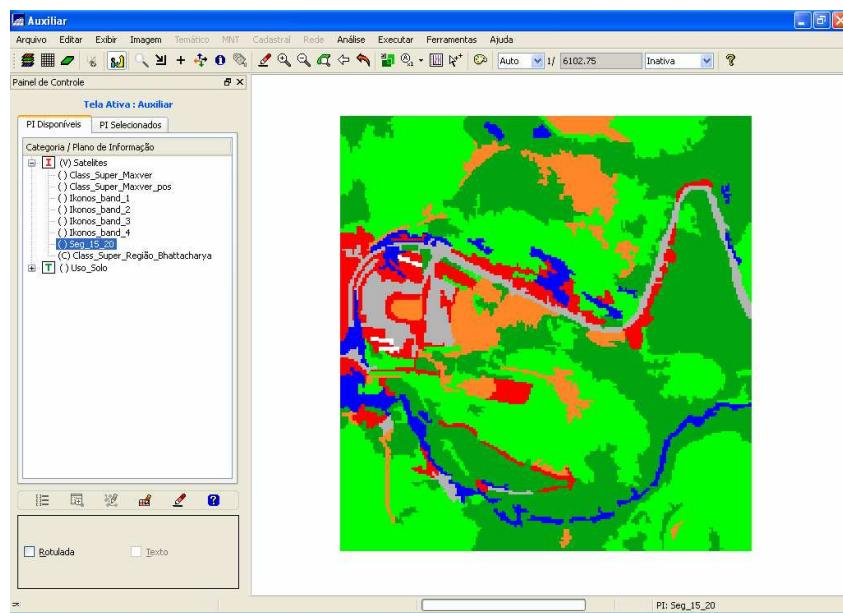
Figura 7.10. Amostras de treinamento selecionadas.

❖ **CLASSIFICAÇÃO PELO MÉTODO DE BHATTACHARYA**

1. Na caixa de diálogo **Classificação**, clique sobre o botão **Classificação**.
2. Na caixa de diálogo **Classificação de Imagens**, na caixa de entrada **Nome**, digite **Class\_Super\_Região\_Bhattacharya**.
3. Clique sobre o botão **Criar**.
4. No dropdown **Classificador**, selecione **Bhattacharya**.
5. No dropdown **Limiar de aceitação**, selecione **99%**.
6. Clique sobre o botão **Analizar Amostras**.
7. Na caixa de diálogo **Análise de Amostras**, observe o desempenho médio das amostras e, posteriormente, clique sobre o botão **Fechar**.
8. De volta a caixa de diálogo **Classificação de Imagens**, clique sobre o botão **Executar**.
9. Clique sobre o botão **OK** da caixa de mensagem **SPRING**.



Na janela **Auxiliar** do SPRING, veja o resultado da imagem classificada **Class\_Super\_Região\_Bhattacharya** e feche esta janela.

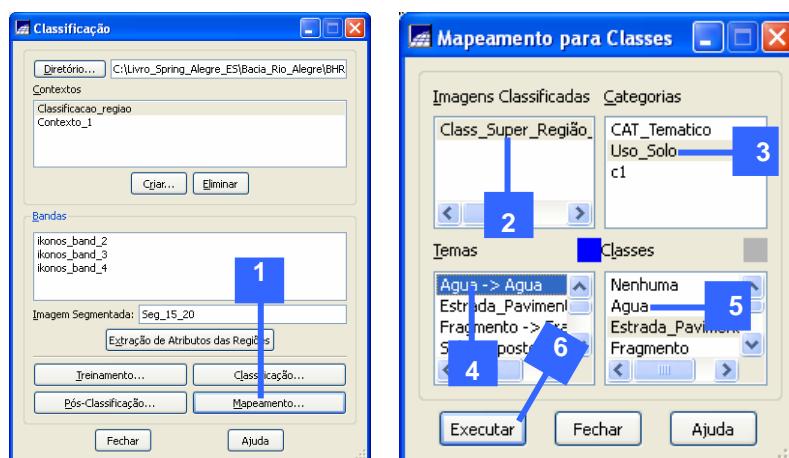


❖ **ELABORAÇÃO DO MAPA TEMÁTICO (MAPEAMENTO) DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

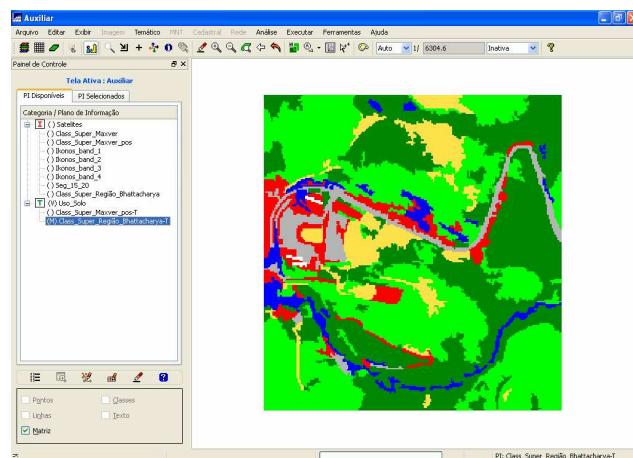
1. Na caixa de diálogo **Classificação**, clique sobre o botão **Mapeamento**.
2. Na caixa de diálogo **Mapeamento para Classes**, no painel **Imagens Classificadas**, selecione a imagem **Class\_Super\_Região\_Bhattacharya**.
3. No painel **Categorias**, selecione **Uso\_Solo**.
4. No painel **Temas**, selecione o tema **Água**.
5. No painel **Classes**, selecione a classe **Água**.

Repita os passos 4 e 5 para os outros temas e classes como demonstrado, anteriormente, na Tabela 7.6, com exceção da classe Água já criada, anteriormente.

6. Clique sobre o botão **Executar**.



Abaixo, é demonstrado o resultado do mapeamento realizado pelo método da classificação supervisionada de Bhattacharya.

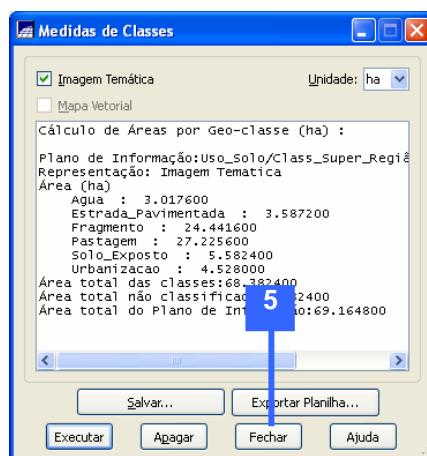
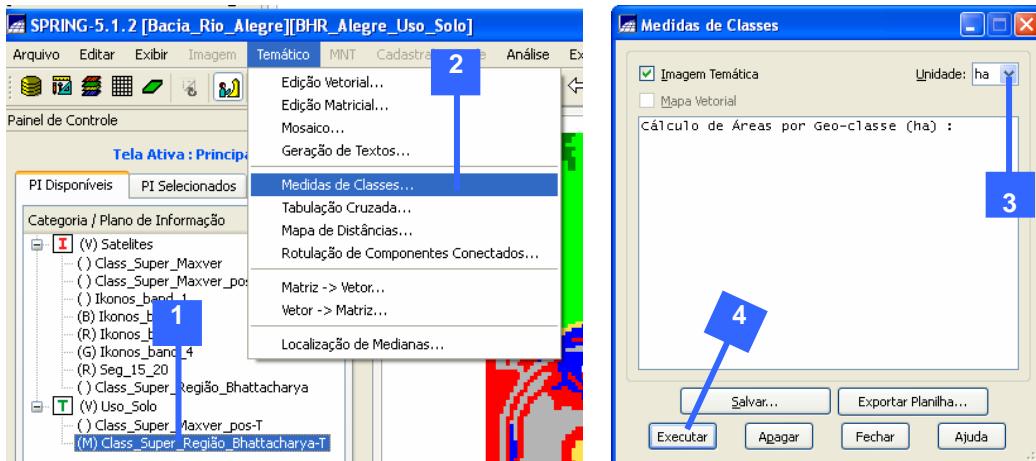


**❖ OBTENÇÃO DE ÁREAS EM HECTARES PARA AS CLASSES TEMÁTICAS**

1. Na categoria **Uso\_Solo**, selecione o plano de informação **Class\_Super\_Região\_Bhattacharya-T**.
2. No menu **Temático**, clique na opção **Medida de Classes**.
3. Na caixa de diálogo **Medidas de Classes**, no dropdown **Unidades**, selecione **ha**.
4. Clique no botão **Executar**.

Veja que a classe **Pastagem** apresenta a maior área de uso que equivale a **27,2 ha**.

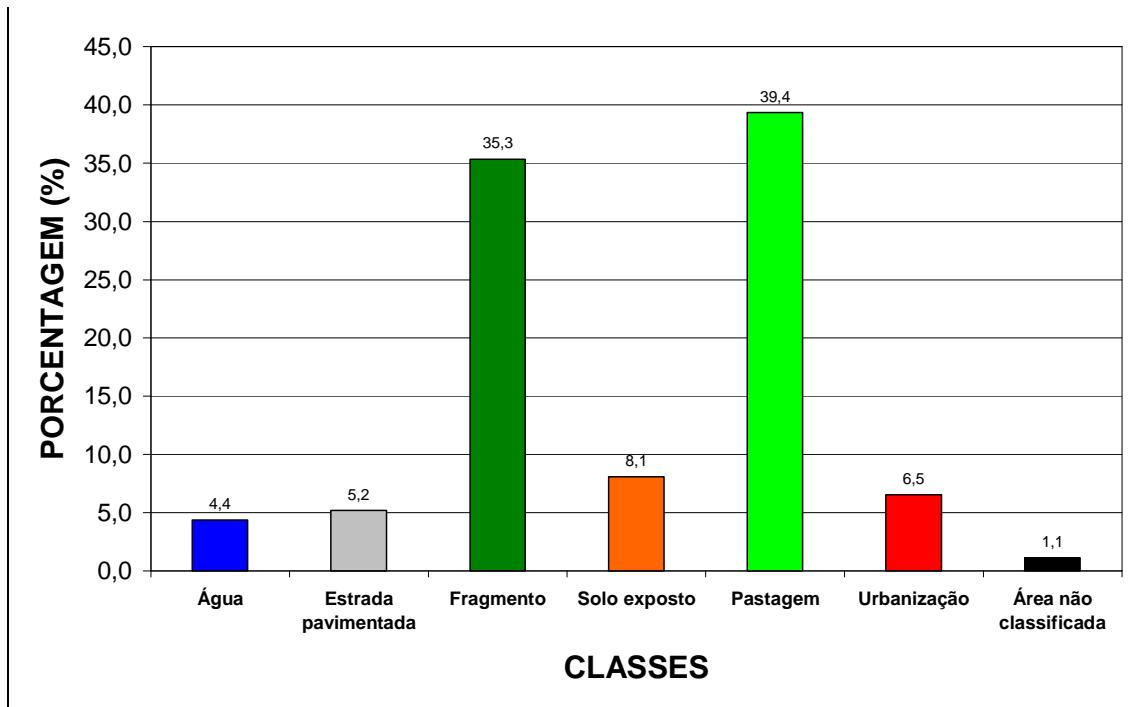
5. Clique sobre o botão **Fechar**.



Os resultados estatísticos da classificação supervisionada usando método de Bhattacharya são mostrados na Tabela 7.9 e Figura 7.11.

**Tabela 7.9.** Resultados estatísticos da classificação supervisionada usando o método de Bhattacharya.

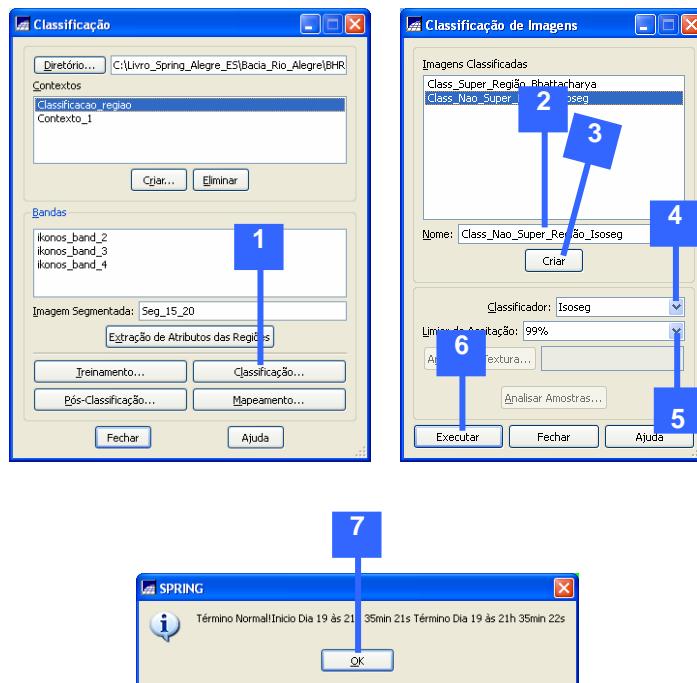
<b>CLASSES</b>	<b>ÁREA</b>	<b>PORCENTAGEM</b>
Água	3,0	4,4
Estrada pavimentada	3,6	5,2
Fragmento	24,4	35,3
Solo exposto	5,6	8,1
Pastagem	27,2	39,4
Urbanização	4,5	6,5
Área não classificada	0,8	1,1
<b>TOTAL</b>	<b>69,2</b>	<b>100,0</b>



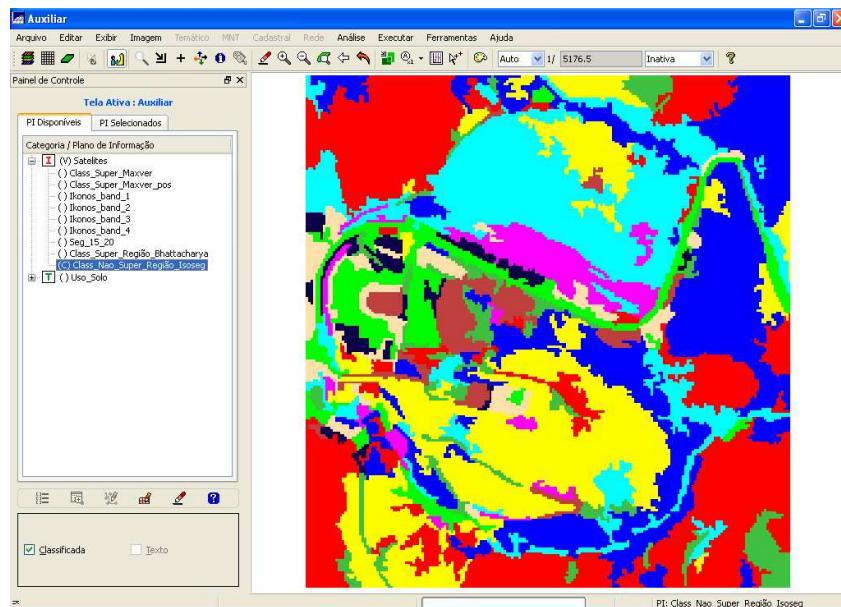
**Figura 7.11.** Resultados estatísticos da classificação supervisionada usando o método de Bhattacharya.

## **7.8. MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO USANDO O MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO NÃO-SUPERVISIONADA ISOSEG**

1. Na caixa de diálogo **Classificação**, clique sobre o botão **Classificação**.
2. Na caixa de diálogo **Classificação de Imagens**, na caixa de entrada **Nome**, digite **Class\_Nao\_Super\_Região\_Isoseg**.
3. Clique sobre o botão **Criar**.
4. No dropdown **Classificador**, selecione **Isoseg**.
5. No dropdown **Limiar de aceitação**, selecione **99%**.
6. Clique sobre o botão **Executar**.
7. Clique sobre o botão **OK** da caixa de mensagem **SPRING**.



Na janela **Auxiliar** do SPRING, veja o resultado da imagem classificada **Class\_Nao\_Super\_Região\_Isoseg** e feche essa janela.



❖ **ELABORAÇÃO DO MAPA TEMÁTICO (MAPEAMENTO) DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

1. Na caixa de diálogo **Classificação**, clique sobre o botão **Mapeamento**.
2. Na caixa de diálogo **Mapeamento para Classes**, no painel **Imagens Classificadas**, selecione a imagem **Class\_Nao\_Super\_Região\_Isoseg**.
3. No painel **Categorias**, selecione **Uso\_Solo**.
4. No painel **Temas**, selecione o tema **Tema10**.
5. No painel **Classes**, selecione a classe **Urbanizacao**.

Repita os passos 4 e 5 para os outros temas e classes (exceto o Tema10 já processado) de acordo com a Tabela 7.10.

6. Clique sobre o botão Executar.

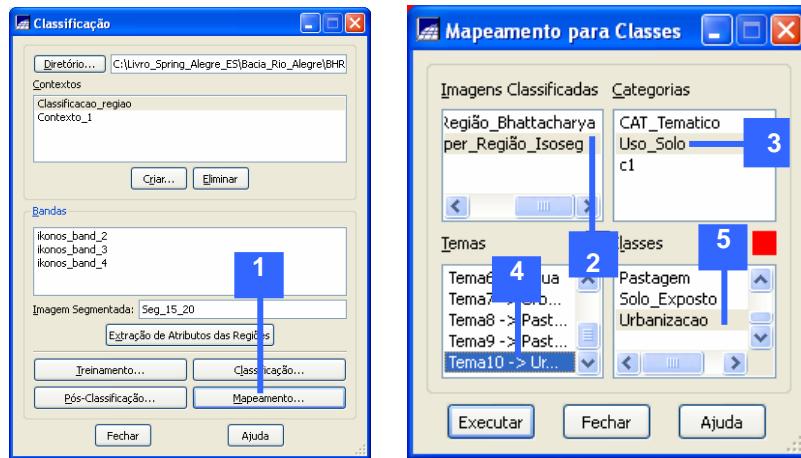
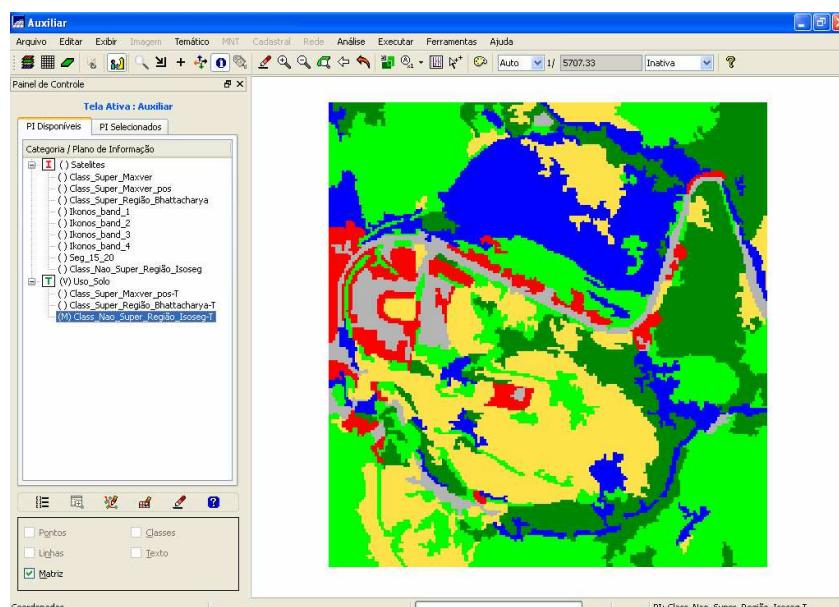


Tabela 7.10. Temas e suas respectivas classes.

TEMA	CLASSE
Tema1	Pastagem
Tema2	Estrada Pavimentada
Tema3	Fragmento
Tema4	Solo exposto
Tema5	Solo exposto
Tema6	Água
Tema7	Urbanização
Tema8	Pastagem
Tema9	Pastagem
Tema10	Urbano

Abaixo, é demonstrado o resultado do mapeamento realizado pelo método da classificação não-supervisionada ISOSEG.

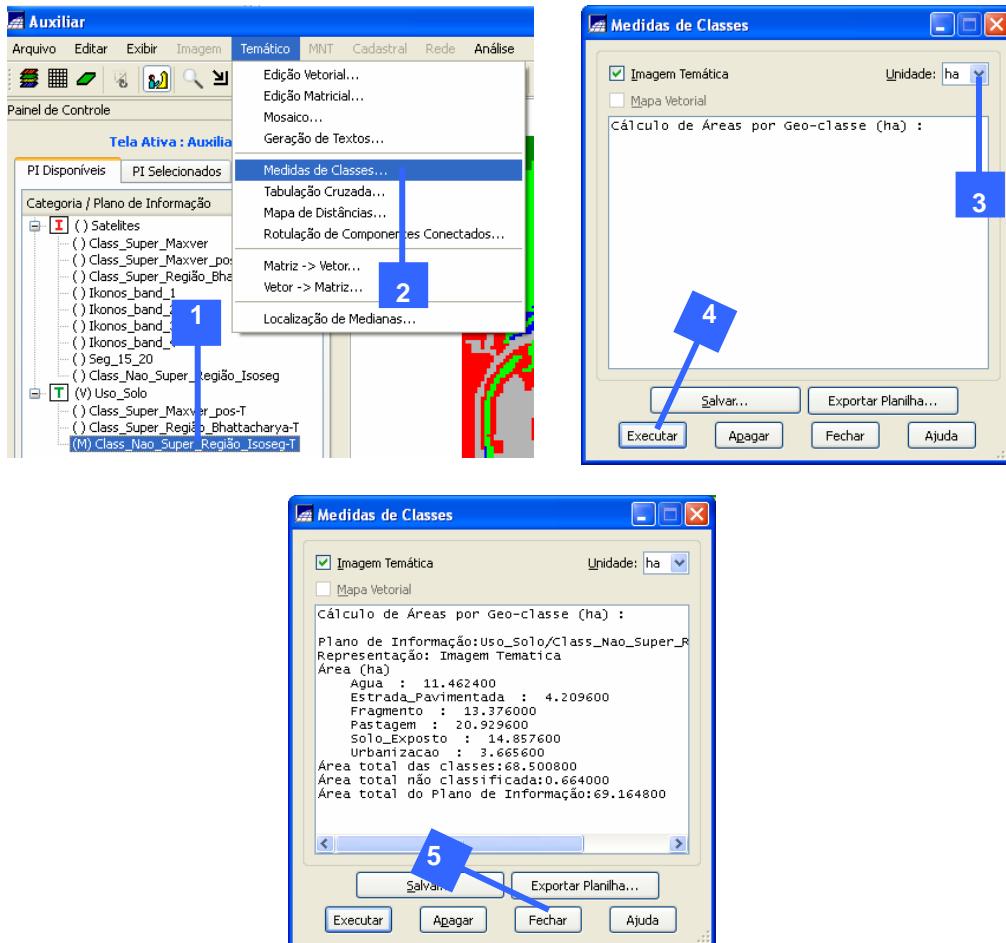


❖ **OBTENÇÃO DE ÁREAS EM HECTARES PARA AS CLASSES TEMÁTICAS**

1. Na categoria **Uso\_Solo**, selecione o plano de informação **Class\_Super\_Região\_Isoseg-T**.
2. No menu **Temático**, clique na opção **Medida de Classes**.
3. Na caixa de diálogo **Medidas de Classes**, no dropdown **Unidades**, selecione **ha**.
4. Clique no botão **Executar**.

Veja que a classe **Pastagem** apresenta a maior área de uso que equivale a **27,2 ha**.

5. Clique sobre o botão **Fechar**.



Os resultados estatísticos da classificação não-supervisionada pelo método ISOSEG são mostrados na Tabela 7.11 e Figura 7.12.

Tabela 7.11. Resultados estatísticos da classificação não-supervisionada pelo método Isoseg.

CLASSES	ÁREA	PORCENTAGEM
Água	11,5	16,6
Estrada pavimentada	4,2	6,1
Fragmento	13,4	19,3
Solo exposto	14,9	21,5
Pastagem	20,9	30,3
Urbanização	3,7	5,3
Área não classificada	0,7	1,0
<b>TOTAL</b>	<b>69,2</b>	<b>100,0</b>

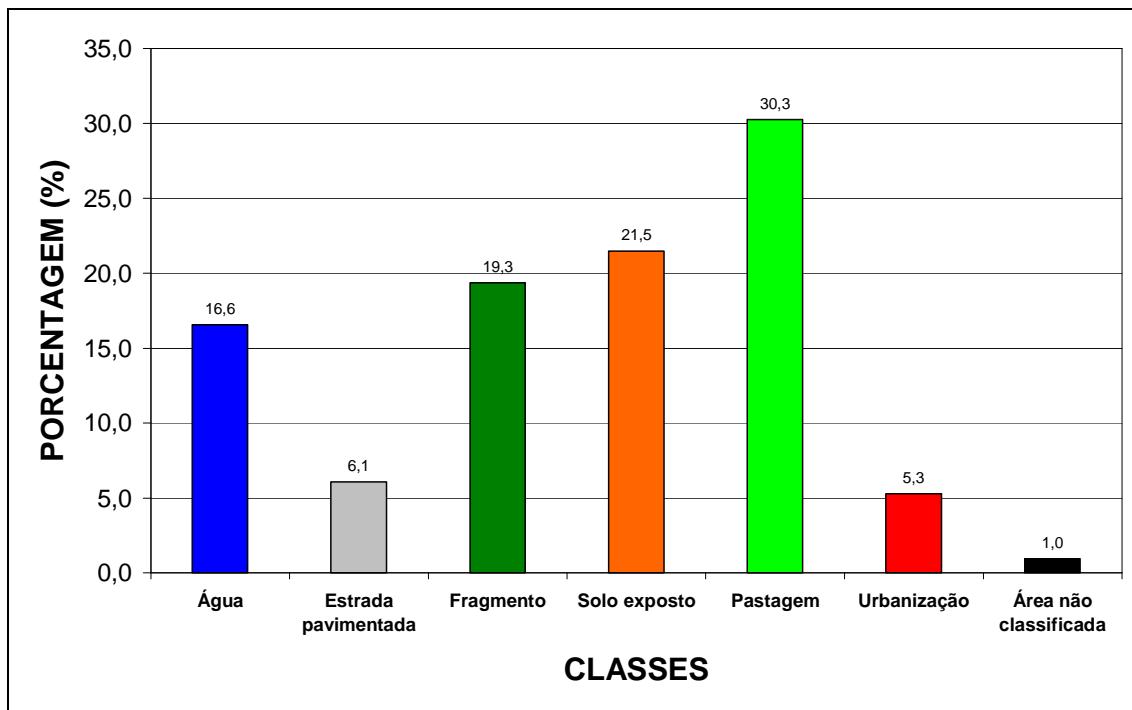


Figura 7.12. Resultados estatísticos da classificação não-supervisionada pelo método Isoseg.

## **7.9. TRABALHOS CIENTÍFICOS RELACIONADOS COM CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS**

Os passos demonstrados, anteriormente, foram aplicados no trabalho científico intitulado “Avaliação de algoritmos de classificação supervisionada para imagens do Cbers-2 da Região do Parque Estadual do Rio Doce-MG” (SILVA & PEREIRA, 2007) apresentado nos Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 6223-6228, objetivando avaliar os diferentes algoritmos de classificação supervisionada, a fim de verificar qual fornece a melhor classificação e consequente mapa temático. Dessa maneira, obter o mapeamento da área de estudo para usos múltiplos, dentre estes, o monitoramento da cobertura e do uso do solo.

## **REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS**

- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1998. 137 p.
- CORTE, A. P. D. ; DLUGOSZ, F. L. ; CENTENO, J. A. S. . **Testes de limiares para a segmentação de imagens SPOT-5 visando a detecção de plantios florestais**. Revista Acadêmica. Ciências Agrárias e Ambientais, v. 6, p. 249-257, 2008.
- CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. ed. ver. Campinas. SP: IG/UNICAMP, 1993. 170p.
- DLUGOSZ, F. L.; ROSOT, N. C. ; ROSOT, M. A. D. ; OLIVEIRA, Y. M. M. de . **Índice para a avaliação de segmentação de imagens**. Floresta (UFPR. Impresso), v. 39, p. 131-143, 2009.
- EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows: Introdução e Exercícios Tutorais**. J. Ronald Eastman. Editores da versão em português, Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre, UFRGS, Centro de recursos Idrisi, 1998.

GONZALES, R. C.; WINTZ, P. **Digital image processing**. Boston: Prodding, Addison Wesley, 1987.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1994. 750 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005. 307 p.

SILVA, M. L. M.; PEREIRA, G. P. M. **Avaliação de algoritmos de classificação supervisionada para imagens do Cbers-2 da Região do Parque Estadual do Rio Doce-MG**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 6223-6228.



Alexandre Rosa dos Santos, Telma Machado de Oliveira Peluzio, Nathália Suemi Saito, João Batista Esteves Peluzio, Gilson Fernandes da Silva, Maristela de Oliveira Bauer

### **8.1. INTRODUÇÃO**

As bandas individuais de uma imagem multiespectral tendem, frequentemente, a serem altamente correlacionadas, visualmente e numericamente. Estas correlações podem ser causadas pelo efeito das sombras resultantes da topografia, da sobreposição das janelas atmosféricas entre bandas adjacentes e do próprio comportamento espectral do objeto. Dessa forma, a análise das bandas espectrais individuais pode ser inefficiente devido à informação redundante presente em cada uma dessas. Para lidar com problemas dessa natureza, pode-se utilizar a técnica dos componentes principais, criando novas imagens onde as bandas individuais são independentes, isto é, não-correlacionadas.

A correlação entre duas bandas é verificada quando dada a intensidade de um determinado pixel em uma delas, pode-se deduzir com razoável aproximação a intensidade do pixel correspondente da outra imagem. Sendo duas imagens idênticas, essas são ditas 100% correlacionadas, sendo uma imagem negativa da outra, diz-se que são -100% correlacionadas (CRÓSTA, 1993).

O novo conjunto de imagens, independentes entre si, resulta da transformação derivada da matriz de covariância dos valores originais. Os componentes principais são gerados em número igual ao de bandas espectrais, sendo ordenados, decrescentemente, em função da variação do nível de cinza.

### **8.2. ELABORAÇÃO DE IMAGENS DE COMPONENTES PRINCIPAIS**

Usaremos o conjunto de dados relativos com as imagens do satélite IKONOS do quadrante representativo do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES, para estudar a análise de componentes principais e as características da informação contida nos dados.

1. Utilizando o banco de dados [Bacia\_Rio\_Alegre] e o projeto [BHR\_Alegre\_Uso\_Solo] e utilizando os conhecimentos já adquiridos nos capítulos anteriores deste livro, visualize as imagens do satélite IKONOS (Figura 8.1) obedecendo à sequência mostrada na Tabela 8.1.

PERGUNTA 1	Há alguma banda que se pareça com a banda 4 (ikonos_band_4)?
------------	--------------------------------------------------------------

Tabela 8.1. Imagens do satélite IKONOS do quadrante representativo do Parque de Exposição da cidade de Alegre, ES.

SATÉLITE IKONOS (QUADRANTE REPRESENTATIVO DA PARQUE DE EXPOSIÇÃO DA CIDADE DE ALEGRE, ES)			
BANDAS ESPECTRAIS		INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA ( $\mu\text{m}$ )	FAIXA ESPECTRAL
01/12/2002	TELAS DO SPRING		
Ikonos_band_4 (M)	Tela principal	0,76 – 0,90 (4 m)	Infrav. próximo
Ikonos_band_3 (M)	Tela auxiliar	0,63 – 0,69 (4 m)	Vermelho
Ikonos_band_1 (M)	Tela 2	0,45 – 0,52 (4 m)	Azul
Ikonos_band_2 (M)	Tela 3	0,52 – 0,60 (4 m)	Verde

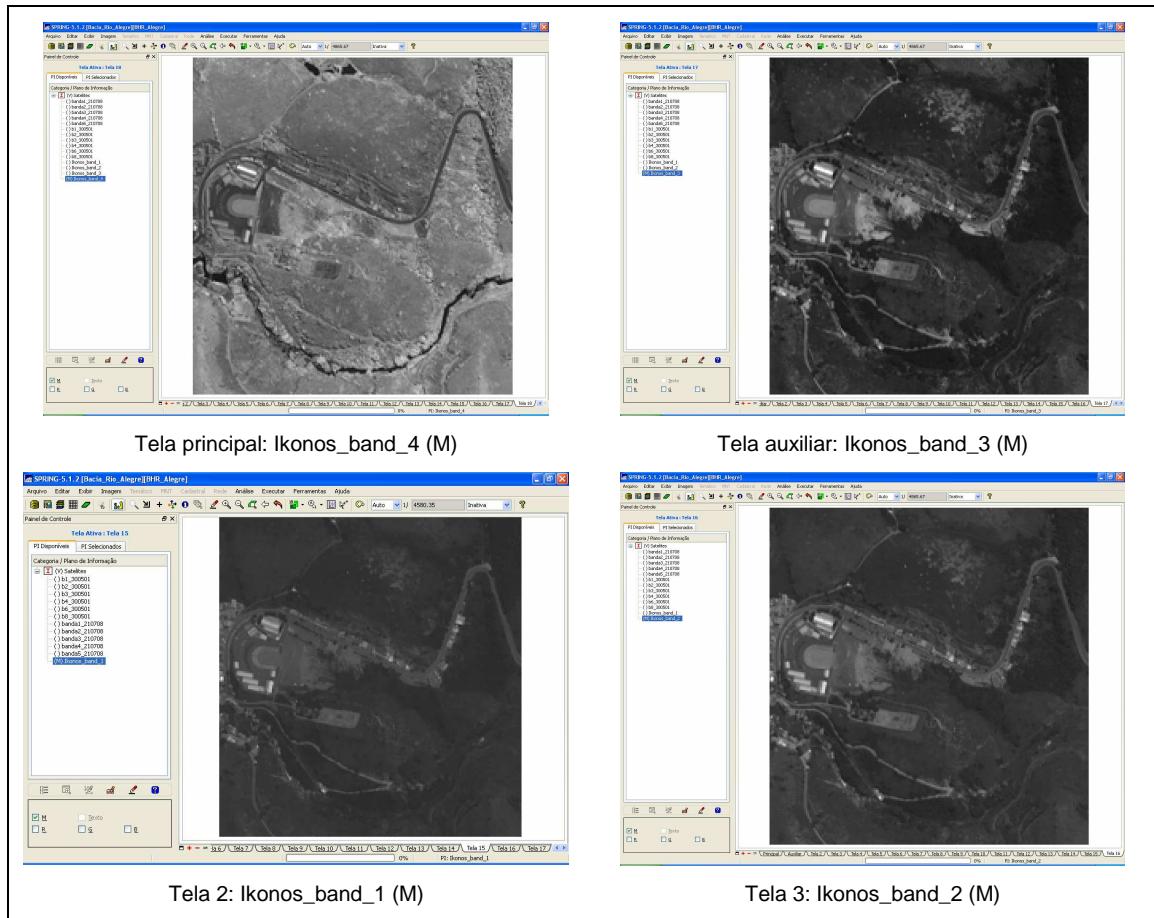
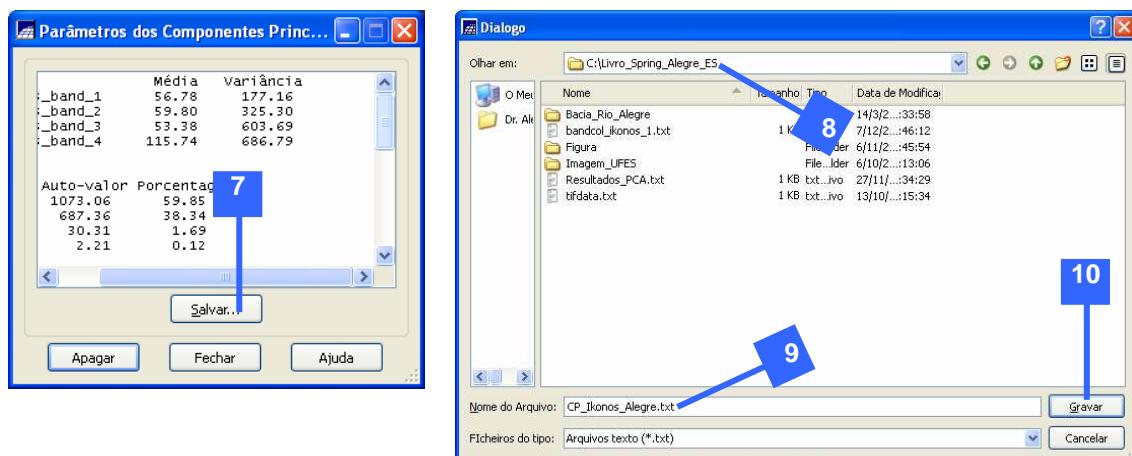
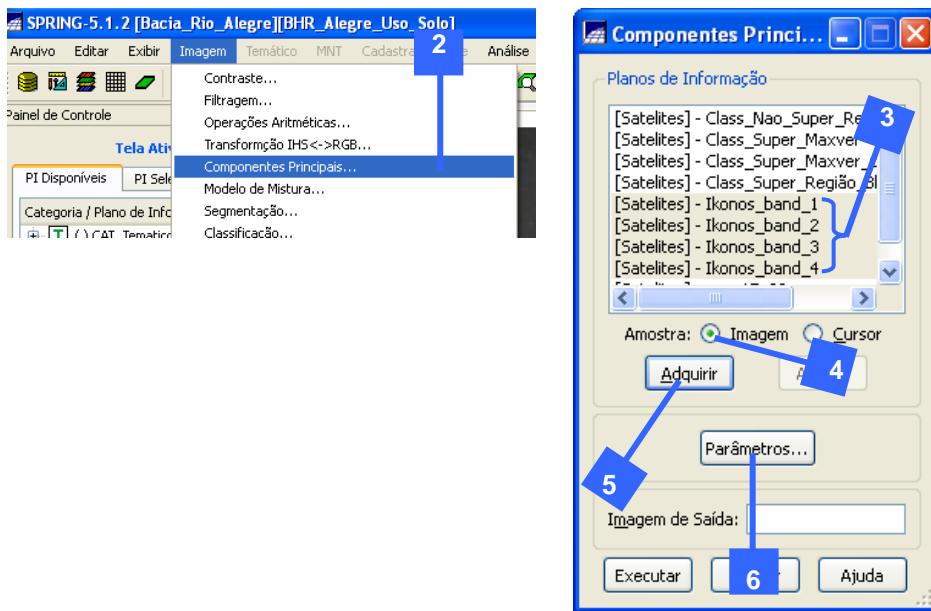


Figura 8.1. Telas no SPRING representativas das imagens do satélite IKONOS.

2. No menu **Imagen**, clique em **Componentes Principais**.
3. Na caixa de diálogo **Componentes Principais**, no painel **Planos de Informação**, selecione as imagens **Ikonos\_band\_1**, **Ikonos\_band\_2**, **Ikonos\_band\_3** e **Ikonos\_band\_4**.
4. Em **Amostra**, marque a opção **Imagen**.
5. Clique no botão **Adquirir**.
6. Clique no botão **Parâmetros**.
7. Na caixa de diálogo **Parâmetros dos Componentes Principais**, clique no botão **Salvar**.
8. Na caixa de diálogo **Diálogo**, vá para o diretório **C:\Livro\_Spring\_Alegre\_ES**.
9. Na caixa de entrada **Nome do Arquivo**, digite **CP\_Ikonos\_Alegre.txt**.
10. Clique sobre o botão **Gravar**.
11. De volta a caixa de diálogo **Parâmetros dos Componentes Principais**, clique sobre o botão **Fechar**.
12. De volta a caixa de diálogo **Parâmetros dos Componentes Principais**, clique sobre o botão **Fechar**.
13. De volta a caixa de diálogo **Componentes Principais**, na caixa de entrada **Imagen de Saída**, digite **Ikonos**.

Após o processamento, observe que o SPRING gerou os seguintes componentes principais (Figura 8.2):

- Ikonos-PC1
- Ikonos-PC2
- Ikonos-PC3
- Ikonos-PC4



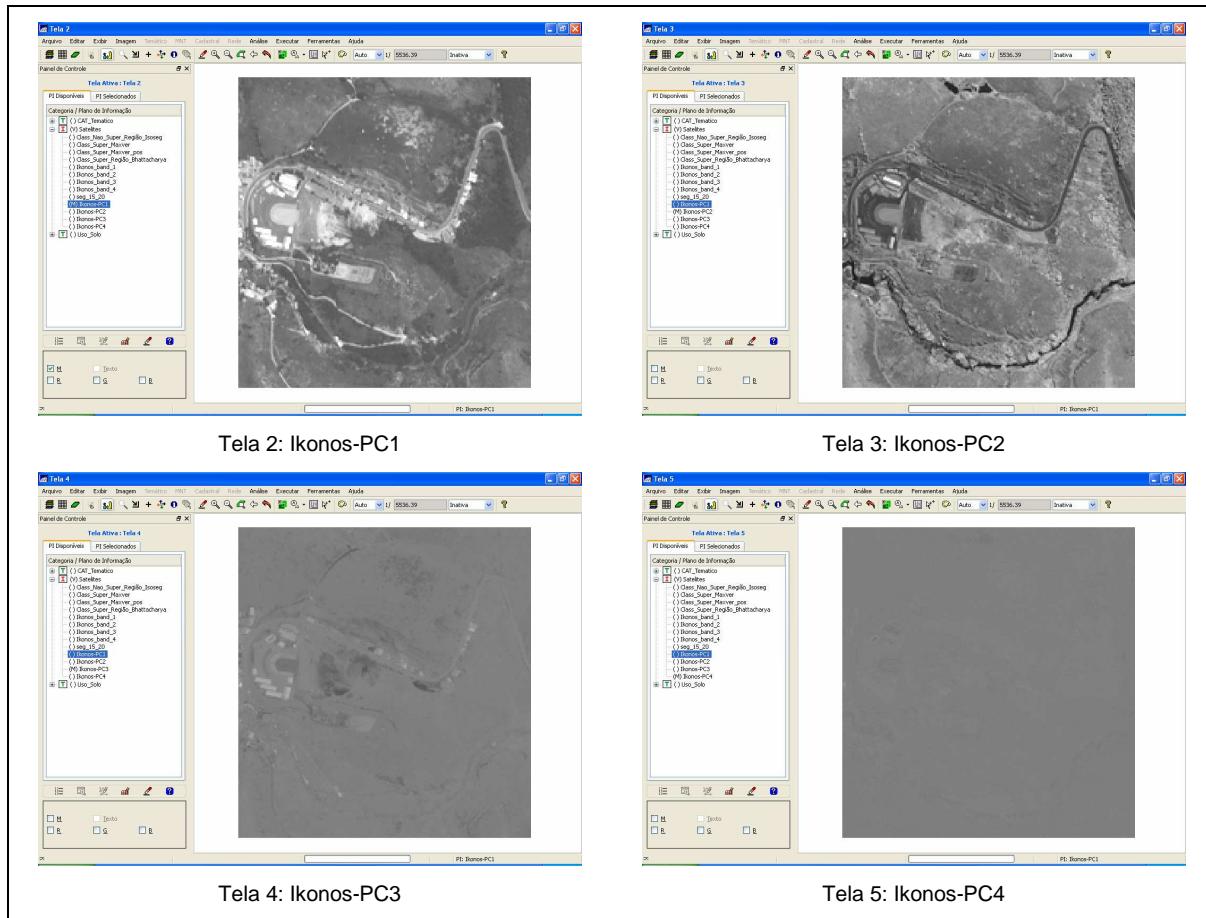


Figura 8.2. Telas no SPRING representativas das imagens dos componentes principais processados.

### **ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS DOS COMPONENTES PRINCIPAIS**

No Windows abra com o Bloco de Notas o arquivo **CP\_Ikonos\_Alegre.txt** (Figuras 8.3) contido no diretório **C:\Livro\_Spring\_Alegre\_ES**. A Figura 8.4 mostra uma adaptação didática da Figura 8.3.

CP_Ikonos_Alegre - Bloco de notas			
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda			
PI	Média	Variância	
Ikonos_band_1	56.78	177.16	
Ikonos_band_2	59.80	325.30	
Ikonos_band_3	53.38	603.69	
Ikonos_band_4	115.74	686.79	
PC	Auto-valor	Porcentagem	
P1	1073.06	59.85	
P2	687.36	38.34	
P3	30.31	1.69	
P4	2.21	0.12	
Matriz de Covariância			
177.16	233.98	425.75	-31.79
233.94	325.30	425.75	-7.40
297.58	425.75	603.69	-11.95
-31.79	7.40	-11.95	686.79
Matriz de Correlação			
1.00	0.910	0.910	-0.091
0.974	1.000	0.961	0.016
0.910	0.961	1.000	-0.019
-0.091	0.016	-0.019	1.000
Matriz de Auto-vetores			
0.39	0.54	0.74	-0.04
-0.04	0.21	0.03	1.00
0.65	0.41	-0.64	0.02
0.65	-0.73	0.19	0.04

Figura 8.3. Resultados estatísticos da análise de componentes principais.

PLANO DE INFORMAÇÃO		MÉDIA	VARIÂNCIA	
Ikonos_band_1		56,78	177,16	→ A
Ikonos_band_2		59,80	325,30	
Ikonos_band_3		53,38	603,69	
Ikonos_band_4		115,74	686,79	

COMPONENTES PRINCIPAIS (PC)		AUTO-VALOR	PORCENTAGEM (%)	
P1		1073,06	59,85	→ B
P2		687,36	38,34	
P3		30,31	1,69	
P4		2,21	0,12	

MATRIZ DE COVARIÂNCIA				
	Ikonos_band_1	Ikonos_band_2	Ikonos_band_3	Ikonos_band_4
Ikonos_band_1	177,16	233,94	297,58	-31,79
Ikonos_band_2	233,94	325,30	425,75	7,40
Ikonos_band_3	297,58	425,75	603,69	-11,95
Ikonos_band_4	-31,79	7,40	-11,95	686,79

MATRIZ DE CORRELAÇÃO				
	Ikonos_band_1	Ikonos_band_2	Ikonos_band_3	Ikonos_band_4
Ikonos_band_1	1,000	0,974	0,910	-0,091
Ikonos_band_2	0,974	1,000	0,961	0,016
Ikonos_band_3	0,910	0,961	1,000	-0,019
Ikonos_band_4	-0,091	0,016	-0,019	1,000

MATRIZ DE AUTO-VETORES				
	Ikonos_band_1	Ikonos_band_2	Ikonos_band_3	Ikonos_band_4
Ikonos_band_1	0,39	0,54	0,74	-0,04
Ikonos_band_2	-0,02	0,05	0,03	1,00
Ikonos_band_3	0,65	0,41	-0,64	0,02
Ikonos_band_4	0,65	-0,73	0,19	0,04

Figura 8.4. Adaptação didática dos resultados estatísticos da análise de componentes principais.

PERGUNTA 2	Que bandas se correlacionam mais com a banda 4? Como isso se compara à sua resposta à pergunta 1?
RESPOSTA	Como observado da Figura 8.4 (Letra D), a banda que mais se correlaciona com a banda 4 é a banda 1 (-0,091) seguida da banda 3 (-0,019) e da banda 2 (0,016). Como observado, inicialmente, na pergunta 1, realmente a banda 1 é a que mais parece com a banda 4, porém a banda 3 também é muito parecida.

Os autovalores expressam a quantidade de variância explicada por cada componente e os autovetores são os coeficientes de ponderação associados às variáveis utilizadas nas equações de transformação.

PERGUNTA 3	Quanto da variância é explicada pelos componentes 1 e 2 separadamente?
RESPOSTA	Como observado da Figura 8.4 (Letra B), o componente 1 (P1) explica 59,85% da variação e o componente 2 (P2) explica 38,34% da variação.

PERGUNTA 4	Quanto da variância é explicada pelos componentes 1, 2 juntos (some a quantidade explicada por ambas)?
RESPOSTA	Como observado da Figura 8.4 (Letra B), os componentes 1 e 2 juntos explicam 98,19% da variação.

### 8.3. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

#### EXEMPLO 1

Neste tópico, serão demonstradas, passo a passo, as etapas necessárias para determinação dos componentes principais a partir de uma matriz de covariância 2 x 2.

Para este exemplo, serão utilizados os valores digitais (níveis de cinza) das bandas espectrais do vermelho (banda 3) e infravermelho (banda 4) de uma pequena amostra de imagem do satélite IKONOS (Figura 8.5).

T1	T2	T3
36	33	33
T4	T5	T6
44	43	31
T7	T8	T9
43	44	35

a) BANDA 3 (VERMELHA)

T1	T2	T3
116	121	129
T4	T5	T6
119	123	134
T7	T8	T9
126	120	143

b) BANDA 4 (INFRAVERMELHO)

Figura 8.5. Amostra de uma imagem do satélite IKONOS. a) Banda 3 (Vermelho) e b) Banda 4 (Infravermelho). T1 a T9 tratamentos.

Considere os dados da Tabela 8.2, referente às duas variáveis  $X_1$  (Banda 3) e  $X_2$  (Banda 4) mensuradas em uma amostra constituída de 9 tratamentos.

Tabela 8.2. Observações relativas a duas variáveis ( $X_1$  e  $X_2$ ) avaliadas em 9 tratamentos.

TRATAMENTOS (nº = 9)	VARIÁVEIS		$(X_{i1} - \bar{X}_1)^2$	$(X_{i2} - \bar{X}_2)^2$	$(X_{i1})^2$	$(X_{i2})^2$	$X_{i1} \cdot X_{i2}$
	$X_1$	$X_2$					
1	36	116	4,00	93,51	1296	13456	4176
2	33	121	25,00	21,81	1089	14641	3993
3	33	129	25,00	11,09	1089	16641	4257
4	44	119	36,00	44,49	1936	14161	5236
5	43	123	25,00	7,13	1849	15129	5289
6	31	134	49,00	69,39	961	17956	4154
7	43	126	25,00	0,11	1849	15876	5418
8	44	120	36,00	32,15	1936	14400	5280
9	35	143	9,00	300,33	1225	20449	5005
$\sum$	342	1131	234,00	580,01	13230	142709	42808
$\bar{X}$	38,00	125,67	-	-	-	-	-

Baseado nos dados da Tabela 8.1, podemos calcular a VARIÂNCIA ( $\hat{Var}$ ) e a COVARIÂNCIA ( $Cov$ ) de cada uma das variáveis  $X_1$  e  $X_2$  como demonstrado abaixo:

**CÁLCULO DAS VARIÂNCIAS ( $\hat{Var}$ )**

$$\hat{Var}(X_1) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{i1} - \bar{X}_1)^2}{n-1} = \frac{234}{9-1} = 29,25$$

ou

$$\hat{Var}(X_1) = \frac{\sum_{i=1}^n X_{i1}^2 - \left( \sum_{i=1}^n X_{i1} \right)^2 / n}{n-1} = \frac{13230 - \frac{(342)^2}{9}}{9-1} = 29,25$$

e

$$\hat{Var}(X_2) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{i2} - \bar{X}_2)^2}{n-1} = \frac{580,01}{9-1} = 72,50$$

ou

$$\hat{Var}(X_2) = \frac{\sum_{i=1}^n X_{i2}^2 - \left( \sum_{i=1}^n X_{i2} \right)^2 / n}{n-1} = \frac{142709 - \frac{(1131)^2}{9}}{9-1} = 72,50$$

**CÁLCULO DAS COVARIÂNCIAS ( $\hat{Cov}$ )**

$$\hat{Cov}(X_1, X_2) = \frac{\sum_{i=1}^n X_{i1} \cdot X_{i2} - \left( \sum_{i=1}^n X_{i1} \right) \left( \sum_{i=1}^n X_{i2} \right) / n}{n-1} = \frac{42808 - \frac{(342)(1131)}{9}}{9-1} = -21,25$$

**MATRIZ DE COVARIÂNCIA**

De posse dos valores de VARIÂNCIA ( $\hat{Var}$ ) e a COVARIÂNCIA ( $\hat{Cov}$ ), podemos obter os componentes principais das variáveis  $X_1$  e  $X_2$ , cuja matriz de covariância estimada,  $S$ , é:

$$S = \begin{bmatrix} \hat{Var}(X_1) & \hat{Cov}(X_1, X_2) \\ \hat{Cov}(X_1, X_2) & \hat{Var}(X_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 29,25 & -21,25 \\ -21,25 & 72,50 \end{bmatrix}$$

Resolução:

A equação característica é:

$$|S - \lambda I| = 0$$

$$\begin{bmatrix} 29,25 - \lambda & -21,25 \\ -21,25 & 72,50 - \lambda \end{bmatrix} = 0,$$

isto é:

$$(29,25 - \lambda)(72,50 - \lambda) - (-21,25)^2 = 0$$

$$(29,25 \cdot 72,50) - 29,25\lambda - 72,50\lambda + \lambda^2 - (-21,25)^2 = 0$$

$$2120,625 - 101,75\lambda + \lambda^2 - 451,5625 = 0$$

$$\lambda^2 - 101,75\lambda + 1669,0625 = 0 \text{ (Equação do segundo grau)}$$

Em que,

$$a = 1$$

$$b = -101,75$$

$$c = 1669,0625$$

Os autovalores (raízes próprias ou raízes características) obtidos dessa equação são:

$$\Delta = \lambda = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-(-101,75) \pm \sqrt{(-101,75)^2 - 4(1)(1669,0625)}}{2(1)}$$

$$\Delta = \lambda = \frac{101,75 \pm 60,637}{2}$$

$$\lambda_1 = 81,194$$

$$\lambda_2 = 20,557$$

A soma dessas duas raízes dá 101,75, que é exatamente o coeficiente do segundo termo da equação do segundo grau com sinal trocado.

Pode-se observar também que:

$$\frac{81,194}{101,75} \cdot 100 = 79,80\% \text{ para } \lambda_1$$

$$\frac{20,557}{101,75} \cdot 100 = 20,20\% \text{ para } \lambda_2$$

Então, o componente principal, relativo a  $\lambda_1$ , explica 79,80% da variação total, enquanto o outro componente principal, relativo a  $\lambda_2$ , explica 20,20%.

### ESTIMATIVA DA EQUAÇÃO REPRESENTATIVA DO PRIMEIRO COMPONENTE PRINCIPAL

Vamos calcular o primeiro componente principal, correspondente ao maior autovalor  $\lambda_1 = 81,194$ . Ele será dado pelo autovetor normalizado associado a  $\lambda_1$ :

$$[S - \lambda_1 I] \underset{\sim}{\underset{1}{a}}^* = \phi$$

$$\begin{bmatrix} 29,25 - 81,194 & -21,25 \\ -21,25 & 72,50 - 81,194 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{11}^* \\ a_{12}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -51,944 & -21,25 \\ -21,25 & -8,694 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{11}^* \\ a_{12}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Abaixo, é demonstrado o sistema de equação oriundo da multiplicação das matrizes acima:

**Equação 1**  $\Rightarrow -51,944a_{11}^* - 21,25a_{12}^* = 0$

**Equação 2**  $\Rightarrow -21,25a_{11}^* - 8,694a_{12}^* = 0$

Este sistema de equação é indeterminado, uma vez que temos, em virtude de  $[S - \lambda I] = 0$ :

$$\begin{bmatrix} -51,944 & -21,25 \\ -21,25 & -8,694 \end{bmatrix} = 0$$

Podemos, pois, abandonar uma das equações (por exemplo, a equação 2) e dar um valor arbitrário, não nulo, a uma das incógnitas (por exemplo  $a_{12}^* = 1$ ). Assim temos:

$$-51,944a_{11}^* - 21,25 \cdot 1 = 0$$

$$-51,944a_{11}^* = 21,25$$

$$a_{11}^* = -0,409$$

$$\tilde{a}_1^* = \begin{bmatrix} -0,409 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\left\| \tilde{a}_1^* \right\| = \sqrt{(-0,409)^2 + (1)^2}$$

$$\left\| \tilde{a}_1^* \right\| = 1,080$$

O autovetor normalizado é:

$$\tilde{a}_1 = \begin{bmatrix} a_{11}^* \\ a_{12}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{\left\| \tilde{a}_1^* \right\|} \cdot \tilde{a}_1^* = \frac{1}{1,080} \begin{bmatrix} -0,409 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{a}_1 = \begin{bmatrix} -0,379 \\ 0,926 \end{bmatrix} \quad \text{Note que, } \tilde{a}_1^T \tilde{a}_1 = 1$$

Logo:

$$\begin{bmatrix} -0,379 & 0,926 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -0,379 \\ 0,926 \end{bmatrix} = 1$$

$$(-0,379)(-0,379) + (0,926)(0,926) = 1$$

$$0,144 + 0,856 = 1$$

$$1 = 1$$

Logo, o primeiro componente principal é:

$$\hat{Y}_1 = -0,379X_1 + 0,926X_2$$

Este componente é responsável por 79,80% da variação.

#### ESTIMATIVA DA EQUAÇÃO REPRESENTATIVA DO SEGUNDO COMPONENTE PRINCIPAL

O segundo componente principal é dado pelo sistema de equações relativo ao outro autovalor  $\lambda_2 = 20,557$ . Ele será dado pelo autovetor normalizado associado a  $\lambda_2$ :

$$[S - \lambda_2 I] \underline{a}_2^* = \phi$$

$$\begin{bmatrix} 29,25 - 20,557 & -21,25 \\ -21,25 & 72,50 - 20,557 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{21}^* \\ a_{22}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 8,693 & -21,25 \\ -21,25 & 51,943 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{21}^* \\ a_{22}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Abaixo, é demonstrado o sistema de equação oriundo da multiplicação das matrizes acima:

$$\text{Equação 1} \Rightarrow 8,693a_{21}^* - 21,25a_{22}^* = 0$$

$$\text{Equação 2} \Rightarrow -21,25a_{21}^* + 51,943a_{22}^* = 0$$

Este sistema de equação é indeterminado, uma vez que temos, em virtude de  $[S - \lambda I] = 0$ :

$$\begin{bmatrix} 8,693 & -21,25 \\ -21,25 & 51,943 \end{bmatrix} = 0$$

Podemos, pois, abandonar uma das equações (por exemplo, a equação 2) e dar um valor arbitrário, não nulo, a uma das incógnitas (por exemplo  $a_{22}^* = 1$ ). Assim temos:

$$8,693a_{21}^* - 21,25 \cdot 1 = 0$$

$$8,693a_{21}^* = 21,25$$

$$a_{21}^* = 2,444$$

$$\underline{a}_2^* = \begin{bmatrix} 2,444 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\left\| \begin{matrix} a^* \\ \sim_2 \end{matrix} \right\| = \sqrt{(2,444)^2 + (1)^2}$$

$$\left\| \begin{matrix} a^* \\ \sim_2 \end{matrix} \right\| = 2,6406$$

O autovetor normalizado é:

$$\begin{matrix} a \\ \sim_2 \end{matrix} = \begin{bmatrix} a_{21}^* \\ a_{22}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{\left\| \begin{matrix} a^* \\ \sim_2 \end{matrix} \right\|} \cdot \begin{matrix} a \\ \sim_2 \end{matrix} = \frac{1}{2,6406} \begin{bmatrix} 2,444 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{matrix} a \\ \sim_2 \end{matrix} = \begin{bmatrix} 0,926 \\ 0,379 \end{bmatrix} \text{ Note que, } \begin{matrix} a \\ \sim_2 \end{matrix} \cdot \begin{matrix} a \\ \sim_2 \end{matrix} = 1$$

Logo:

$$\begin{bmatrix} 0,926 & 0,379 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,926 \\ 0,379 \end{bmatrix} = 1$$

$$(0,926)(0,926) + (0,379)(0,379) = 1$$

$$0,856 + 0,144 = 1$$

$$1 = 1$$

Logo, o segundo componente principal é:

$$\hat{Y}_2 = 0,926X_1 + 0,379X_2$$

Este componente é responsável por 20,20% da variação total.

### **OBSERVAÇÕES IMPORTANTES**

a) Os componentes são ortogonais, ou seja:

$$\begin{matrix} a \\ \sim_1 \end{matrix} \cdot \begin{matrix} a \\ \sim_2 \end{matrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} -0,379 & 0,926 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,926 \\ 0,379 \end{bmatrix} = 0$$

$$(-0,379)(0,926) + (0,926)(0,379) = 0$$

$$-0,351 + 0,351 = 0$$

$$0 = 0$$

b) Cada componente admite na realidade duas soluções, cada uma delas obtida da outra pela multiplicação de seu segundo membro por (-1). Por exemplo,  $Y_2$  também poderia ter o seguinte valor:

$$\hat{Y}_2 = -0,926X_1 - 0,379X_2$$

Os escores relativos aos 9 tratamentos, obtidos em relação aos 2 componentes principais, estão apresentados na Tabela 8.3.

Tabela 8.3. Escores relativos aos 9 tratamentos obtidos em relação aos 2 componentes principais.

TRATAMENTOS (n = 9)	VARIÁVEIS		ESCORES PARA OS COMPONENTES	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	$\hat{Y}_1$ $\hat{Y}_1 = -0,379X_1 + 0,926X_2$	$\hat{Y}_2$ $\hat{Y}_2 = 0,926X_1 + 0,379X_2$
1	36	116	93,772	77,300
2	33	121	99,539	76,417
3	33	129	106,947	79,449
4	44	119	93,518	85,845
5	43	123	97,601	86,435
6	31	134	112,335	79,492
7	43	126	100,379	87,572
8	44	120	94,444	86,224
9	35	143	119,153	86,607

Com os escores dos dois componentes principais, podemos localizar cada tratamento em um plano cartesiano no qual os eixos representam os componentes (Figura 8.6).

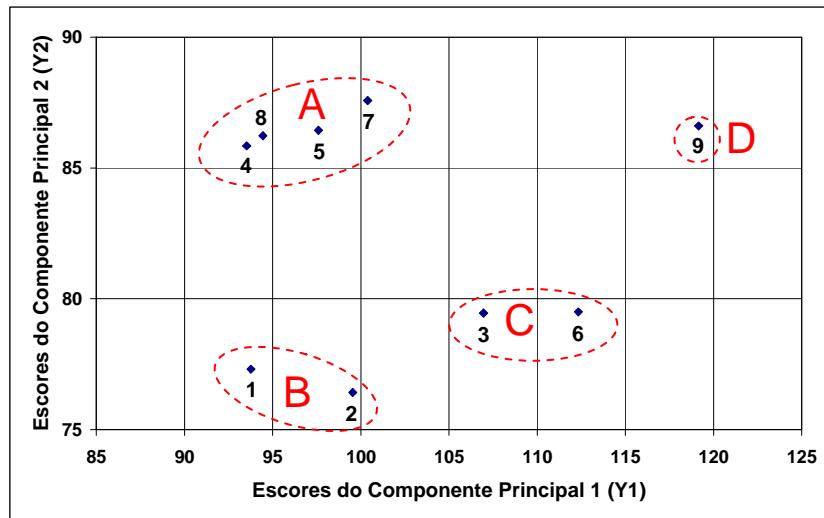


Figura 8.6. Dispersão de 9 tratamento em relação aos componentes principais  $\hat{Y}_1$  e  $\hat{Y}_2$ .

Como observado na Figura 8.6, os grupos A, B, C e D, circundados com linhas pontilhadas, apresentam boa correlação estatística. Como exemplo, os pixels representativos dos tratamentos do grupo A (4, 5, 7 e 8), nas bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho), por estarem próximos entre si, estão bem correlacionados estatisticamente.

A Tabela 8.4 mostra os resultados obtidos até o momento da análise de componentes principais, baseado em nosso exemplo.

Tabela 8.4. Componentes principais obtidos da análise de duas variáveis.

VARIÂNCIAS DE X			COVARIÂNCIAS DE X		
$\hat{Var}(X_1) = 29,25$		$\hat{Var}(X_2) = 72,50$		$\hat{Cov}(X_1, X_2) = -21,25$	
COMPONENTE PRINCIPAL $(Y_i)$	VARIÂNCIA (AUTOVALOR) $(\lambda_i = \hat{Var}(Y_i))$	COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO ASSOCIADO ÀS VARIÁVEIS		PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA DE $Y_i$ (%)	PERCENTAGEM ACUMULADA DA VARIÂNCIA DE $Y_i$
		$X_1$	$X_2$		
$\hat{Y}_1$	81,194	-0,379	0,926	79,80	79,80
$\hat{Y}_2$	20,557	0,926	0,379	20,20	100,00
CORRELAÇÕES ENTRE $X_j$ E $Y_i$ ( $r_{X_j Y_i}$ )*					
$X_1$		$X_2$			
$r_{X_1 Y_1} = -0,631$		$r_{X_2 Y_1} = 0,982$			
$r_{X_1 Y_2} = 0,775$		$r_{X_2 Y_2} = 0,204$			

\* CÁLCULOS DAS CORRELAÇÕES ENTRE  $X_j$  E  $Y_i$ :

$$r_{X_1 Y_1} = \sqrt{\lambda_1} \cdot \frac{a_{11}}{\sqrt{\hat{Var}(X_1)}} = \sqrt{81,194} \cdot \frac{-0,379}{\sqrt{29,25}} = -0,631$$

$$r_{X_2 Y_1} = \sqrt{\lambda_1} \cdot \frac{a_{12}}{\sqrt{\hat{Var}(X_2)}} = \sqrt{81,194} \cdot \frac{0,926}{\sqrt{72,50}} = 0,982$$

$$r_{X_1 Y_2} = \sqrt{\lambda_2} \cdot \frac{a_{21}}{\sqrt{\hat{Var}(X_1)}} = \sqrt{20,557} \cdot \frac{0,926}{\sqrt{29,25}} = 0,775$$

$$r_{X_2 Y_2} = \sqrt{\lambda_2} \cdot \frac{a_{22}}{\sqrt{\hat{Var}(X_2)}} = \sqrt{20,557} \cdot \frac{0,379}{\sqrt{72,50}} = 0,204$$

Como a importância relativa das variáveis pode ser avaliada pela magnitude da correlação destas variáveis a partir dos últimos componentes, no exemplo em consideração, identifica-se a variável  $X_1$ , com maior correlação em  $Y_2$  (0,775), como a de menor importância no estudo realizado.

A Figura 8.7 mostra os valores digitais (níveis de cinza) das bandas espectrais do vermelho (banda 3)( $X_1$ ) e infravermelho (banda 4) ( $X_2$ ) e da componente principal 1 ( $\hat{Y}_1$ ).

<table border="1"> <tr><td>36</td><td>33</td><td>33</td></tr> <tr><td>44</td><td>43</td><td>31</td></tr> <tr><td>43</td><td>44</td><td>35</td></tr> </table> Banda 3 (vermelho) $(X_1)$	36	33	33	44	43	31	43	44	35	<table border="1"> <tr><td>116</td><td>121</td><td>129</td></tr> <tr><td>119</td><td>123</td><td>134</td></tr> <tr><td>126</td><td>120</td><td>143</td></tr> </table> Banda 4 (infravermelho) $(X_2)$	116	121	129	119	123	134	126	120	143	<table border="1"> <tr><td>93,772</td><td>99,539</td><td>106,947</td></tr> <tr><td>93,518</td><td>97,601</td><td>112,335</td></tr> <tr><td>100,379</td><td>94,444</td><td>119,153</td></tr> </table> Componente principal 1 $(\hat{Y}_1)$	93,772	99,539	106,947	93,518	97,601	112,335	100,379	94,444	119,153
36	33	33																											
44	43	31																											
43	44	35																											
116	121	129																											
119	123	134																											
126	120	143																											
93,772	99,539	106,947																											
93,518	97,601	112,335																											
100,379	94,444	119,153																											

Figura 8.7. Valores digitais (níveis de cinza) das bandas espectrais do vermelho (banda 3)( $X_1$ ) e infravermelho (banda 4) ( $X_2$ ) e da componente principal 1 ( $\hat{Y}_1$ ).

**EXERCÍCIO**

1. Baseados nos valores digitais (níveis de cinza) das bandas espectrais do vermelho (banda 3)( $X_1$ ) e infravermelho (banda 4) ( $X_2$ ), demonstrados na Figura 8.8, faça a estimativa da equação do componente principal 1 ( $Y_1$ ) visando:
  - a) determinar a matriz do componente principal 1 com os novos valores digitais (níveis de cinza).
  - b) o plano cartesiano representativo dos componentes principais 1 e 2.

<table border="1"><tr><td>35</td><td>32</td><td>31</td></tr><tr><td>43</td><td>45</td><td>33</td></tr><tr><td>45</td><td>47</td><td>37</td></tr></table>	35	32	31	43	45	33	45	47	37	<table border="1"><tr><td>117</td><td>124</td><td>130</td></tr><tr><td>122</td><td>125</td><td>140</td></tr><tr><td>130</td><td>131</td><td>145</td></tr></table>	117	124	130	122	125	140	130	131	145
35	32	31																	
43	45	33																	
45	47	37																	
117	124	130																	
122	125	140																	
130	131	145																	
Banda 3 (vermelho) ( $X_1$ )	Banda 4 (infravermelho) ( $X_2$ )																		

Figura 8.8. Valores digitais (níveis de cinza) das bandas espectrais do vermelho (banda 3)( $X_1$ ) e infravermelho (banda 4) ( $X_2$ ).

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. ed. ver. Campinas. SP: ig/unicamp, 1993. 170P.



[www.mundogometrica.com.br](http://www.mundogometrica.com.br)