

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA
CLASSIFICAÇÃO DO USO DA TERRA EM IMAGENS CBERS 2**

RENATO LUIZ GAMBARATO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia: Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP
Dezembro - 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA
CLASSIFICAÇÃO DO USO DA TERRA EM IMAGENS CBERS 2**

RENATO LUIZ GAMBARATO

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Célia Regina Lopes Zimback

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia: Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP
Dezembro – 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA LAGEADO - BOTUCATU (SP)

G188d Gambarato, Renato Luiz, 1980-
Desenvolvimento de um programa computacional para classificação do uso da terra em imagens CBERS 2 / Renato Luiz Gambarato. - Botucatu : [s.n.], 2008.
x, 46 f. : il. color., tabs.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008
Orientador: Célia Regina Lopes Zimback
Inclui bibliografia

1.Processamento de imagens. 2. Segmentação de imagens. 3. Análise de imagem. 4. Satélites artificiais na agricultura. I. Zimback, Célia Regina Lopes. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA
CLASSIFICAÇÃO DO USO DA TERRA EM IMAGENS CBERS2"

ALUNO: RENATO LUIZ GAMBARATO

ORIENTADOR: PROFA. DRA. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

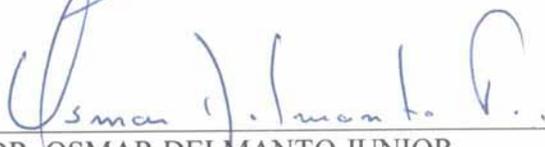
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROFA. DRA. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK



PROF. DR. ZACARIAS XAVIER DE BARROS



PROF. DR. OSMAR DELMANTO JUNIOR

Data da Realização: 03 de dezembro de 2008.

Aos meus pais, Luiz Mário e Suely,
meu avô Michel, minha amada
esposa Vivian, Vera, Ilton, vó Vivi,
Carol, Julinha e Neguim-Babi-
Hanna, pela vida maravilhosa que
tenho com vocês.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida, pela minha família e pela oportunidade de escrever estas palavras.

À minha orientadora Prof^a Célia, pela acolhida, pela compreensão, pela amizade e pelos conselhos valiosos.

Ao Professores Osmar e Jeoshua, pela amizade verdadeira e pela disponibilidade para me ajudar e me aconselhar.

Ao Professor Zacarias, pela amizade, pelos conselhos, pelas críticas e por acreditar no meu trabalho.

Aos amigos da FATEC/Botucatu, do SENAI e do Grupo GEPAG, pelos bons momentos.

Aos Professores da FCA/UNESP pelo conhecimento passado.

Aos amigos da PG-Energia na Agricultura.

À todas as pessoas, as quais não tenho como contar, que direta e indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Muito obrigado!

"Se fiz descobertas valiosas, foi mais por ter paciência do que qualquer outro talento."

Isaac Newton

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 Imagens Digitais.....	7
2.1.1 Imagens Monocromáticas.....	10
2.1.2 Imagens Coloridas.....	10
2.1.3 Imagem de Satélite (multiespectrais).....	12
2.2 Imagens no Computador.....	12
2.2.1 Bitmap – BMP.....	13
2.2.2 Imagem JPEG ou JPG.....	14
2.2.3 Imagem TIFF.....	14
2.2.4 Imagem GeoTIFF.....	15
2.3 Processamento de Imagens Digitais – Segmentação de Imagens.....	16
2.3.1 Limiarização - A Intensidade Como Separador.....	18
2.3.2 Métodos Baseados nos Contornos dos Objetos.....	19
2.3.3 Crescimento de Regiões.....	20
2.4 A Cultura do Eucalipto.....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Abrir e compor imagens GeoTIFF.....	28
3.1.1 Abertura de imagens pancromáticas (tons de cinza).....	28
3.1.2 Composição de imagens pelas bandas R – G – B – Infravermelho.....	29
3.2 Leitura e interpretação das <i>GeoKeys</i>	29
3.3 Recorte e gravação das imagens (BMP e TIFF).....	30
3.4 Método para os testes e coleta dos resultados.....	31

3.4.1 O Satélite	31
3.4.2 As Bandas Espectrais	31
3.4.3 Área para a verificação da verdade de campo.....	33
3.4.4 Média da reflectância das área de cultivo de eucalipto	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1 Resultados do desenvolvimento do sistema SmartClass	35
4.2 O processamento das imagens e discussões sobre os resultados obtidos	41
5 CONCLUSÕES	44
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

LISTA DE TABELAS

	Páginas
1 – Bandas Multiespectrais de uma Imagem CBERS 2B.....	12
2 – Um exemplo de <i>GeoKey</i>	16

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
1 – Convenção das coordenadas espaciais de uma Imagem	8
2 – Uma Imagem Digital como uma matriz	9
3 – Ilustração esquemática de uma Imagem Digita	9
4 – Uma imagem monocromática com dois níveis de intensidade de brilho.....	10
5 – Combinação de cores primárias	11
6 – Uma imagem colorida e sua matriz de pixels	11
7 – Imagens BMP – Resolução 100x100.....	13
8 – Imagens: (a) BMP – 3860 KB, (b) JPG – 177 KB	14
9 – Segmentação de imagem utilizando a técnica de crescimento de regiões.....	21
10 – Curvas de reflectância para água, asfalto, concreto, gramado e solo exposto	23
11 – Esquema gráfico do sistema SmartClass	26
12 – Janela principal do sistema SmartClass	27
13 – Combinações das Bandas 2, 3 e 4.....	31
14 – Combinações das Bandas 2, 3 e 4.....	32
15 – Composição das Bandas 4, 2 e 1.....	33
16 – Localização geográfica da área utilizada para validação da classificação das imagens ...	34
17 – Tela inicial do sistema SmartClass	36
18 – Banda 1 (azul) aberta como uma imagem PAN	37
19 – Janela de escolha de bandas para composição	38
20 – Imagem composta e a barra de informações da imagem	38
21 – Linhas de grade e mensagem de recorte	39
22 – Janela de informações geográficas da imagem (<i>GeoKeys</i>).....	40
23 – Processamento de uma imagem e detecção das áreas de cultivo de eucalipto	41
24 – Imagem de teste antes do processamento.	42
25 – Imagem de teste após o processamento.	43

RESUMO

Entre as diversas áreas de estudo reunidas sob o denominador comum de processamento digital de imagens, encontra-se a área conhecida como análise de imagens. Este campo de estudos visa ao desenvolvimento de técnicas que permitam extrair informações das imagens, possibilitando às pessoas e aos equipamentos maior poder de análise, resultando em maior suporte às decisões. Neste processo, uma etapa importante é a de segmentação que se refere à divisão da imagem em diversas partes elementares, permitindo a análise destas isoladamente. Este é um processo complexo porque tenta traduzir para o computador um processo cognitivo extremamente sofisticado realizado através da visão humana que realiza agrupamentos baseados na proximidade, similaridade e continuidade das imagens captadas. Tais agrupamentos são utilizados na classificação e análise semântica dos objetos percebidos. Atualmente, o processamento de imagens de satélite é uma ferramenta importante e eficaz no planejamento agrícola e no monitoramento ambiental. Fazendo uso de imagens de satélite e de técnicas de processamento de imagens, o profissional pode analisar a área de interesse e realizar um planejamento prévio sem a necessidade de uma visita ao local. As técnicas de segmentação dividem a imagem em partes homogêneas, identificando, assim, as áreas de cultivo, as áreas de mata, rios e lagos, facilitando o processo de identificação de áreas de interesse do profissional. Diante deste contexto, o presente trabalho visou facilitar a detecção de áreas de cultivo de eucalipto através do desenvolvimento do programa SmartClass, que realiza a composição de imagens, a partir das bandas espectrais isoladas coletadas pelos satélites imageadores, e o processamento para este fim, sendo que as etapas do processamento

são realizadas de forma automática. A detecção das áreas de cultivo de eucalipto foi realizada com sucesso e o programa mostrou-se de fácil utilização.

Palavras-chave: Processamento de Imagens, Segmentação de Imagens, Imagens de Satélite.

DEVELOPMENT OF A COMPUTER PROGRAM FOR THE CLASSIFICATION OF
LAND USE IN CBERS 2 IMAGES.

Botucatu, 2008.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências
Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: RENATO LUIZ GAMBARATO

Adviser: CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

SUMMARY

Among the various fields of study grouped under the common denominator of digital image processing, is the area known as analysis of images. This field of study aims to develop techniques that allow extracting information from images, enabling the people and equipment increased power of analysis, resulting in greater support for the decisions. In the process, an important step is to target regard to the division of the image in various parts elementary, allowing the analysis of isolation. This is a complex process because the computer tries to translate to an extremely sophisticated cognitive process through the vision that conducts human groupings based on proximity, similarity and continuity of images. Such groupings are used in the classification and semantic analysis of the objects perceived. Currently, the processing of satellite imagery is an important and effective tool in agricultural

planning and environmental monitoring. Making use of satellite imagery and techniques of image processing, the operator can analyze the area of interest and conduct a preliminary planning without the need for a site visit. The techniques of image segmentation divided into parts homogeneous, identifying thus the areas under cultivation, the areas of forest, rivers and lakes, facilitating the process of identifying areas of interest to the profession. In this context, the present study to facilitate the detection of areas of cultivation of eucalyptus by developing the SmartClass program, which makes the composition of images, from the individual spectral bands collected by satellite images, and processing for this purpose, with the processing stages are performed automatically. The detection of areas of cultivation of eucalyptus has been successful and the program proved to be easy to use.

Keywords: Image Processing, Image Segmentation, Satellite Image.

1 INTRODUÇÃO

Fazer o reconhecimento de uma área, saber de seu potencial, onde será realizado o trabalho é, além de essencial, o primeiro passo de profissionais de diversas áreas. O médico inspeciona minuciosamente o paciente antes de diagnosticar. O engenheiro civil verifica as condições da área a ser construída. O engenheiro agrônomo visita a área de interesse para verificar as condições do solo, da água e a vegetação presente.

No campo agrônômico, o conhecimento da vegetação presente em uma área é um dado valioso para a tomada de decisão, visto que pela vegetação pode-se estimar dados ambientais e levantar dados hidrográficos, entre outras análises, nem sempre uma visita é possível, isto devido à distância, ou por ser um local de difícil acesso, ou mesmo pelo risco de alguma endemia.

Com o avanço tecnológico, o reconhecimento das áreas de interesse tornou-se mais fácil. As fotografias aéreas e imagens capturadas por satélites, as técnicas de processamento de imagens, inteligência artificial (neurocomputação), extração de informações de um grande conjunto de dados, entre outros instrumentos, facilitaram esse trabalho, diminuindo o número de visitas ao local de estudo e, até mesmo, diminuindo os custos dos trabalhos realizados.

Neste contexto, o processamento digital de imagens torna-se um valioso instrumento aos profissionais que necessitam de um reconhecimento da área de interesse, um maior detalhamento no processo de análise e até uma “segunda opinião” na tomada de decisão, já que as técnicas de processamento inteligente mostram-se aptas a essa tarefa e com uma precisão considerável.

O Brasil possui um vasto acervo de imagens de satélites. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, conta com imagens do território brasileiro, e de outros países sulamericanos, datados de 1973 até os dias atuais, e todo esse acervo está disponível gratuitamente. Mas, essas imagens estão disponíveis em um formato de arquivo, ou tipo de arquivo, que poucos programas conseguem trabalhar diretamente. Normalmente, há a necessidade da conversão para outro formato, que o programa consiga trabalhar. Um trabalho extra para os usuários dos programas e das imagens.

Assim, um estudo e desenvolvimento de um sistema computacional de processamento de imagens de satélite para a detecção da vegetação de uma área de interesse, com a utilização das imagens de satélite no formato que estão disponíveis, demonstra ser de grande relevância.

Tendo em vista o processamento de imagens de satélite, os objetivos específicos buscados neste trabalho foram:

- desenvolver um sistema computacional que visualise imagens de satélite, ou que as componha a partir das bandas isoladas, além de trabalhar com as imagens diretamente no seu formato nativo;
- segmentar a imagem do satélite visando as áreas de cultivo de eucalipto;
- classificar as áreas de cultivo de eucalipto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Imagens Digitais

O olho humano forma uma imagem pela percepção da luz refletida por diversos pontos dos objetos. As informações são enviadas ao cérebro por meio de sinais elétricos transmitidos pelo sistema nervoso. Esses sinais são recebidos e interpretados, formando a imagem (GONZALES, 2002).

Equipamentos eletrônicos, incluindo o computador, trabalham com sinais digitais, que são informações codificadas no sistema binário de numeração (0 e 1) e transmitidas por pulsos elétricos, sendo que a existência do pulso indica o valor 1, e sua ausência indica o valor 0. Cada valor binário, 0 ou 1, em um sinal digital, é chamado de **bit** (***Binary Digit*** – Dígitos Binários), que agrupados em conjuntos de 2^n elementos, representam alguma informação digital.

Segundo Gonzales (2002), uma imagem é uma função bidimensional da intensidade luminosa – $f(x,y)$, e o valor de f em uma coordenada espacial (x,y) define a intensidade (brilho) da imagem naquele ponto. Convencionou-se que a origem das coordenadas espaciais (x,y) de uma imagem localiza-se no canto superior esquerdo e possui o

valor (0,0). Assim, os valores de x e y aumentam da esquerda para a direita e de cima para baixo, respectivamente como mostrado na Figura 1.

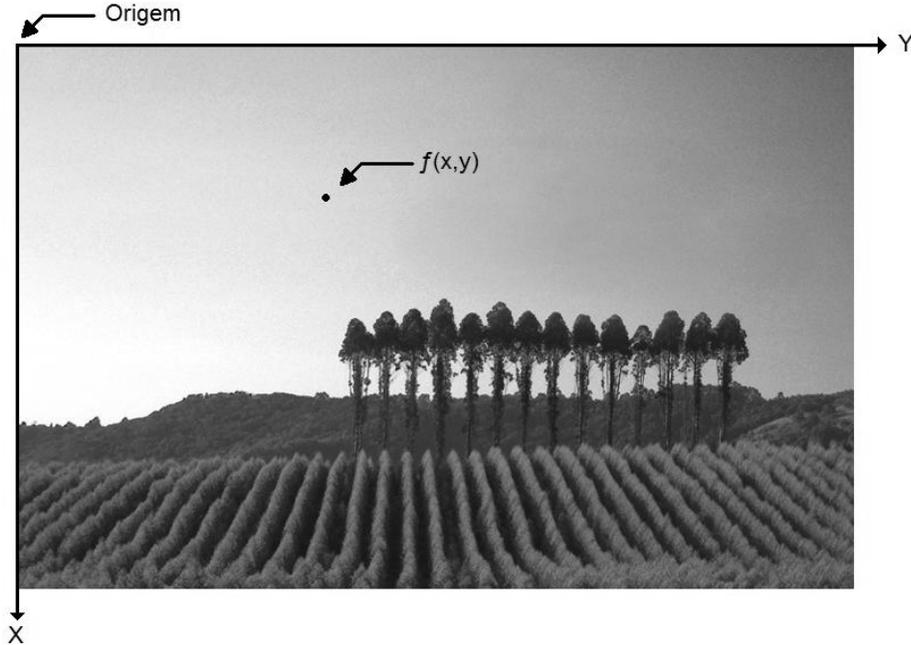


Figura 1 – Convenção das coordenadas espaciais de uma imagem

Uma imagem digital é uma imagem $f(x,y)$, com suas coordenadas espaciais e os respectivos valores da intensidade do brilho para cada ponto, que são codificados e armazenados como informações digitais. Cada ponto é codificado por um número de *bits*, ou seja, uma certa seqüência de zeros e uns – 00101011, de acordo com as regras internas do equipamento eletrônico que faz uso dessa imagem (GONZALES, 2002).

Uma imagem digital pode ser considerada uma matriz. Os índices de linhas e colunas representam as coordenadas dos pontos da imagem, e o valor armazenado em cada elemento da matriz indica o nível de cinza (brilho) daquele ponto (P), como mostrado na Figura 2.

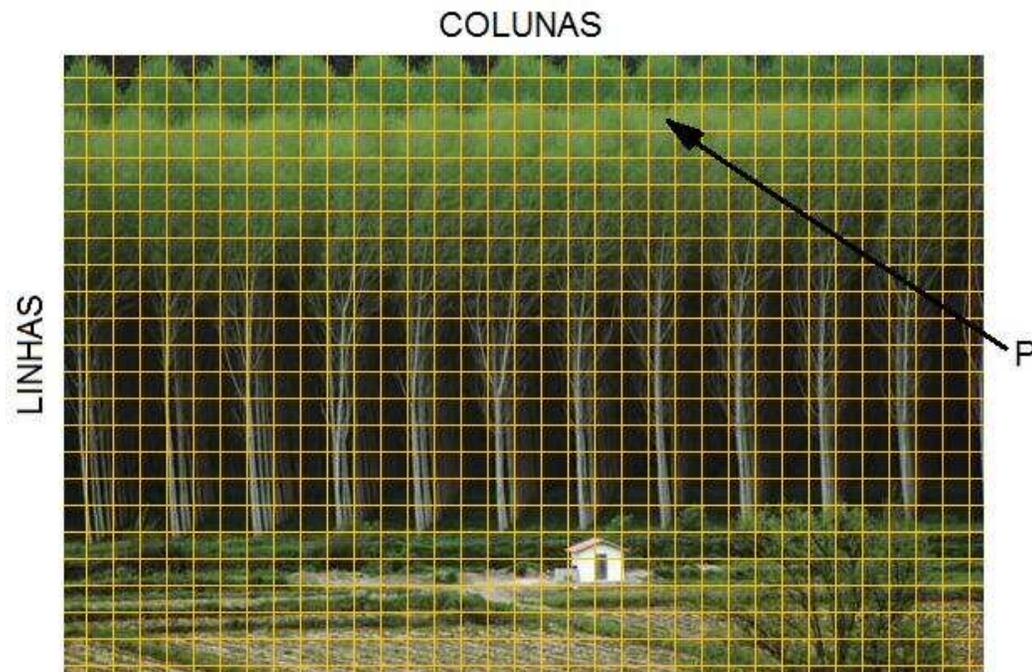


Figura 2 – Uma Imagem Digital como uma matriz.

Segundo Almeida (1998), os elementos da matriz de uma imagem digital são chamados de *pixels*, abreviação de *P*icture *E*lements. Cada *pixel* contém suas coordenadas espaciais (x,y) e o nível de cinza (f) representado por ele. Uma imagem com 256 níveis de cinza tem os valores representados por números que variam de 0 a 255, sendo que os números mais baixos representam intensidades menores de brilho, ou cores mais escuras, e os números mais altos representam intensidades maiores de brilho, ou cores mais claras, como mostrado na Figura 3.

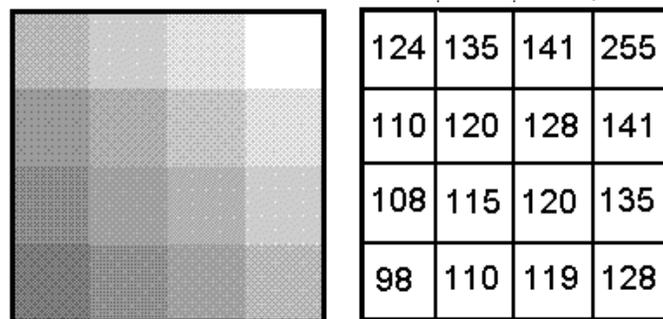


Figura 3 – Ilustração esquemática de uma Imagem Digital.

2.1.1 Imagens Monocromáticas

As imagens monocromáticas são as imagens cujas matrizes de *pixels* contêm valores de intensidade de brilho de apenas uma cor (GONZALES, 2002).

Alguns monitores de vídeo usados em computadores mais antigos mostravam apenas a cor verde, e outros mostravam tons de cinza. As matrizes das imagens exibidas nesses equipamentos continham valores da intensidade de brilho da cor verde, no primeiro caso, e cinza no segundo caso. Supondo que há apenas dois níveis de intensidade de brilho de uma imagem monocromática em tons de cinza, o valor 0 representará a menor intensidade, neste caso a cor preta, e o valor 1 representará a maior intensidade, a cor branca. A Figura 4 mostra uma imagem monocromática com dois níveis de intensidade de brilho e a matriz de *pixels* que representa esta imagem (SANGWINE, 1998).

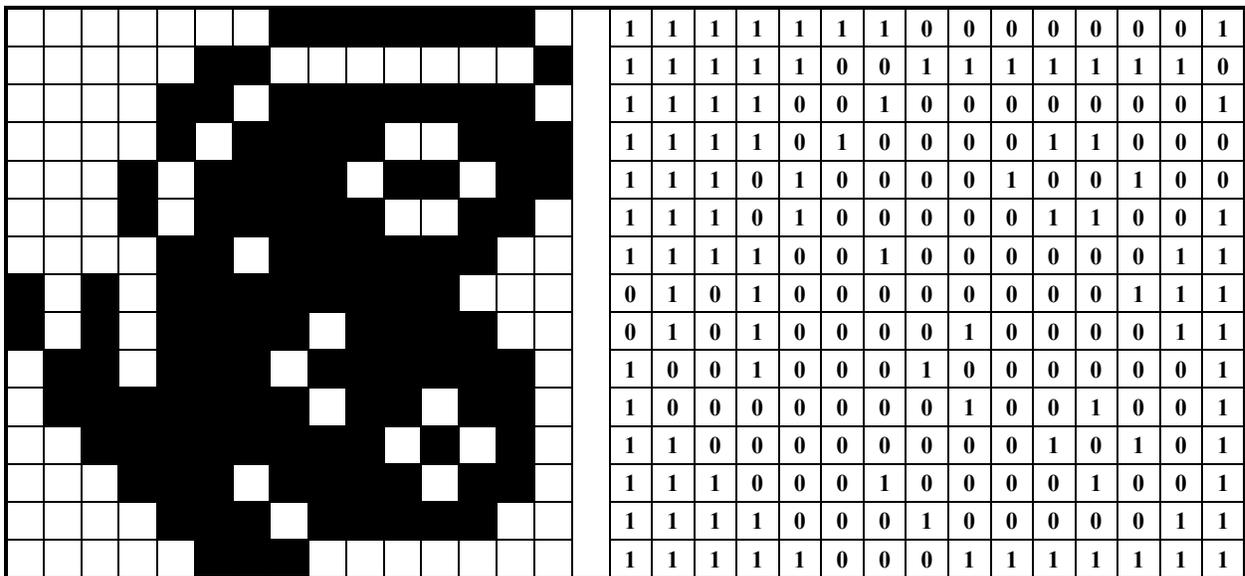


Figura 4 – Uma imagem monocromática com dois níveis de intensidade de brilho.

2.1.2 Imagens Coloridas

Uma cor (C) em uma imagem é a combinação das três cores primárias: Vermelho ($Red - R$), Verde ($Green - G$) e Azul ($Blue - B$); e é expressa algebricamente por $C[C] \equiv R[R] + G[G] + B[B]$ (SANGWINE, 1998).

A Figura 5 apresenta a combinação de cores primárias, resultando em outras cores.

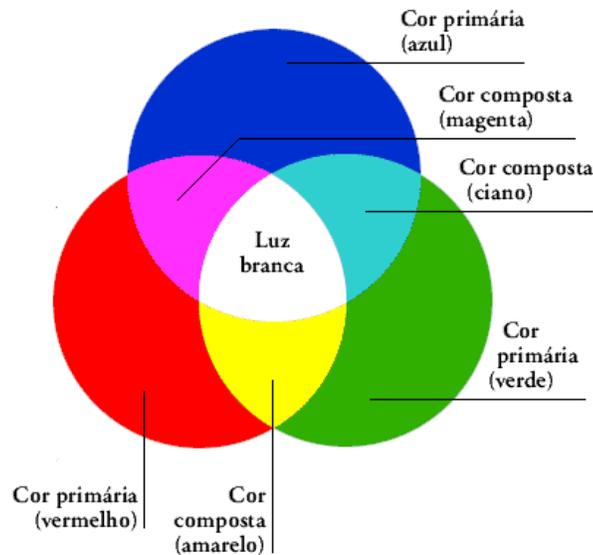


Figura 5 – Combinação de cores primárias.
 Fonte: <<http://omnis.if.ufrj.br/~coelho/DI/Image25.gif>>

Uma imagem colorida é a imagem cuja matriz de *pixels* contém os valores de C, ou a combinação dos valores de R+G+B, ou ainda, os valores das intensidades de brilho de R, G e B. A Figura 6 mostra uma imagem colorida e sua respectiva matriz de *pixels*, sendo que os valores de R, G e B podem assumir os valores 0 ou 1 – com a cor ou sem ela, respectivamente (GONZALES, 2002).

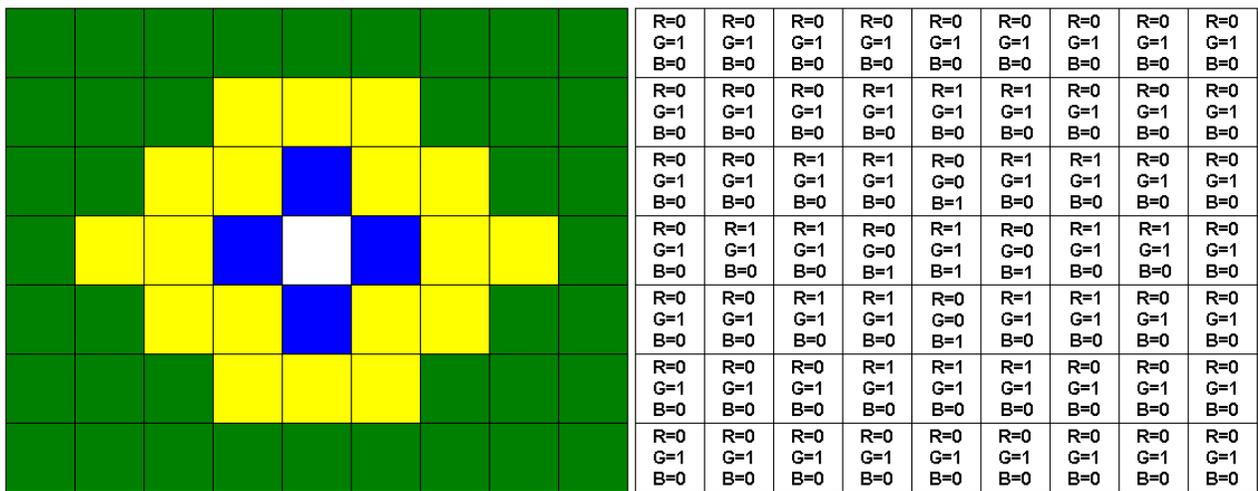


Figura 6 – Uma imagem colorida e sua matriz de *pixels*.

2.1.3 Imagem de Satélite (multiespectrais)

Uma grande área de estudo que utiliza imagens é o Sensoriamento Remoto, que usualmente utiliza imagens obtidas por sensores instalados em satélites orbitais. Essas imagens diferem-se das outras por serem multiespectrais, ou seja, são formadas por várias outras imagens, dependendo dos sensores que as capturam (GONZALES, 2002).

Em 1988, o Brasil, com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, e a China, com a *Chinese Academy of Space Technology* – CAST, assinaram um acordo de parceria para o desenvolvimento de satélites de sensoriamento remoto, denominado CBERS (*China-Brasil Earth Resources Satellite*). Atualmente, os satélites CBERS 2 e o CBERS 2B estão em funcionamento, adquirindo as imagens multiespectrais para os estudos dos países envolvidos no programa (INPE, 2008).

Uma Imagem adquirida pelo instrumento CCD (*Charge-Coupled Device* – Dispositivo de Carga Acoplado) do satélite CBERS 2B possui 5 bandas multiespectrais, ou camadas, como mostra a Tabela 1 (INPE, 2008a).

Tabela 1 – Bandas Multiespectrais de uma Imagem CBERS 2B.

Banda nº	Nome	Comprimento de Onda (µm)	Resolução Espacial(m)/Temporal(dias)
1	Azul	0,45 - 0,52	20x20 / 26
2	Verde	0,52 - 0,59	20x20 / 26
3	Vermelho	0,63 - 0,69	20x20 / 26
4	Infravermelho próximo	0,77 - 0,89	20x20 / 26
5	Pan - Pancromática	0,51 - 0,73	20x20 / 26

2.2 Imagens no Computador

Todo arquivo, independente do tipo, é armazenado no computador na forma binária, ou seja, as informações são codificadas em grupos de números binários, que poder ser 0 ou 1.

Um arquivo de imagem não é diferente. Uma foto, uma figura, ou mesmo uma imagem de satélite seguem o mesmo princípio. Apesar disso, existem tipos diferentes de arquivos de imagens, cada um com suas particularidades e finalidades.

2.2.1 Imagem *Bitmap* – BMP

Uma imagem *Bitmap*, com extensão *.bmp*, é um arquivo que contém uma matriz de informações. Cada elemento dessa matriz, corresponde a um *pixel* da imagem, com suas coordenadas de posicionamento e as informações sobre a cor deste *pixel*.

Um arquivo BMP pode ser codificado de acordo com o número de *bits* que definiram um *pixel*. Este número de *bits* pode variar de 1 *bit*, para imagens em preto e branco, a 24 *bits*, que podem definir mais de 16 milhões de tonalidades de cores diferentes. Quanto maior o número de *bits*, maior será a qualidade (definição) da imagem e vice-versa.

O tamanho do arquivo armazenado no computador será definido por dois fatores:

- a resolução da imagem, que é definida pelo tamanho da matriz de *pixels*; e
- a definição da imagem, que é definida pelo número de *bits* de cores da imagem.

A Figura 7 mostra uma imagem BMP de resolução 100x100 e definições iguais a 1 *bit* e 24 *bits*, respectivamente.

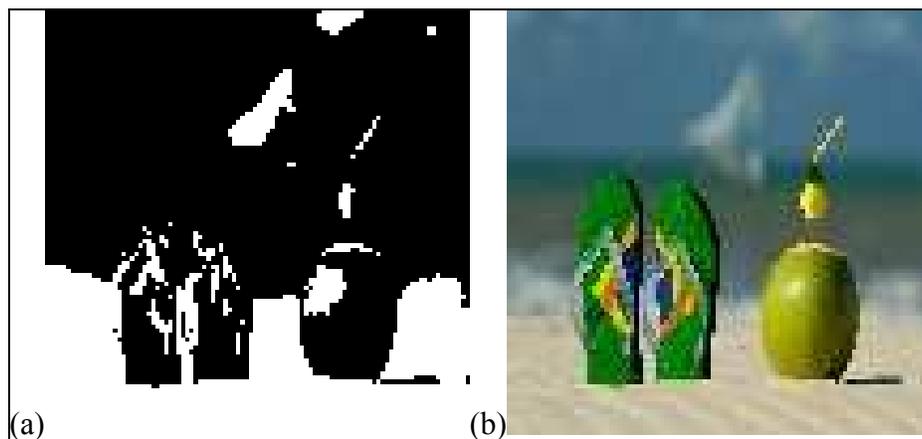


Figura 7 – Imagens BMP – Resolução 100x100 – Definição: (a) 1 *bit* ,(b) 24 *bits*.

2.2.2 Imagem JPEG ou JPG

Uma imagem JPG ou JPEG (*Joint Picture Expert Group*), suporta definição de 24 *bits*, mas com uma vantagem em relação às imagens BMP – menor tamanho para armazenamento.

O formato JPEG utiliza um algoritmo de compactação baseado na capacidade do olho humano de distinguir cores. Esse algoritmo retira da imagem as tonalidades não reconhecidas pelo olho humano, fazendo assim, com que o arquivo diminua de tamanho. Além disso, há uma compactação no arquivo, diminuindo mais o tamanho para armazenamento (ALECRIM, 2004).

Comparando uma imagem JPEG com uma BMP, a imagem JPEG representa menos que 10% do tamanho da imagem BMP, sem reduzir muito a qualidade.

A Figura 8 mostra uma imagem BMP e uma imagem JPEG, com seus respectivos tamanhos, medidos em KB (*Kilobyte*¹).

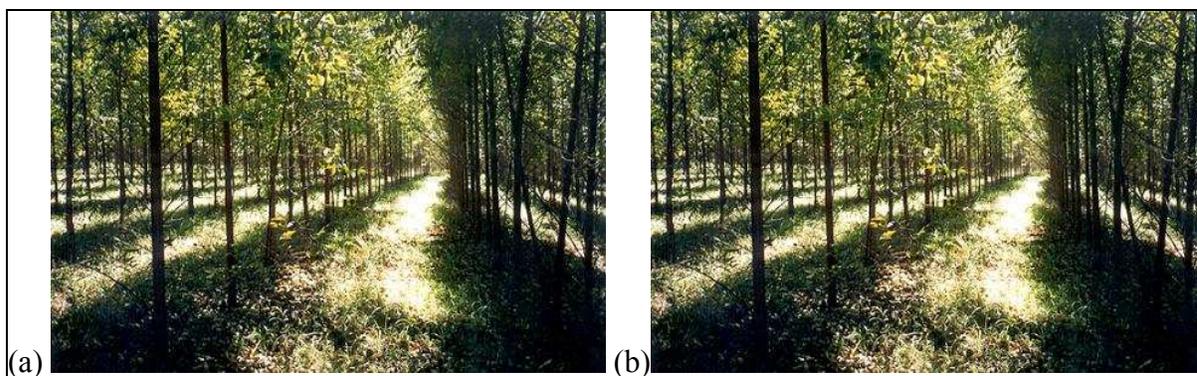


Figura 8 – Imagens: (a) BMP – 3860 KB, (b) JPG – 177 KB.

2.2.3 Imagem TIFF

O padrão TIFF (*Tagged Image File Format*) foi publicado em meados de 1986, e foi amplamente utilizado em *Scanners*² e programas para edição de fotografias.

¹ KB é a abreviação de *KiloByte*, onde: 1KB = 1024 *Bytes* → 1 *Byte* = 8 *bits* → 1 KB = 8.192 *bits*.

² *Scanner*: equipamento que digitaliza uma imagem em uma matriz de *pixels*.

Depois de várias revisões, o padrão TIFF chegou à versão 6.0 em 1992, a qual é utilizada até os dias atuais (ADOBE, 1992).

Uma imagem TIFF é muito similar a uma imagem BMP, pois também possui uma matriz de *pixels*, com as informações das cores e suas coordenadas de posicionamento. Apesar da semelhança, uma imagem TIFF é muito mais complexa e completa que uma imagem BMP.

Além da matriz de *pixels*, uma imagem TIFF possui as *tags*, que são blocos de informações inseridas no cabeçalho do arquivo armazenado, ou seja, nos primeiros *bits* do arquivo estão as *tags*.

As *tags* podem conter:

- informações do autor do arquivo, seja ele uma pessoa, programa ou equipamento;
- informações operacionais, como datas, horário, etc;
- informações sobre o armazenamento da matriz de *pixels* no computador, etc.

Um arquivo TIFF poder conter mais de uma imagem. Inserindo *tags* informando o local de armazenamento, cria-se um vínculo entre as imagens. Este tipo de arquivo é chamado de *TIFF MULTILAYER* (TIFF com várias camadas, onde cada camada contém uma imagem), e é muito utilizada em equipamentos médicos, como tomógrafos, mamógrafos, entre outros.

Em resumo, uma imagem TIFF não contém apenas *pixels* com suas respectivas cores e coordenadas, contém, também, informações específicas para cada aplicação da imagem.

2.2.4 Imagem GeoTIFF

Uma imagem GeoTIFF, como o próprio nome sugere, é uma imagem TIFF que recebeu novas *tags*, chamadas de chaves ou *GeoKeys*, contendo informações geográficas da imagem, como coordenadas geográficas, geocêntricas, projeções, etc (RITTER e RUTH, 1995).

Como mencionado na seção 2.1.3, o satélite CBERS faz o imageamento do Brasil. Utilizando o instrumento CCD, as imagens geradas são divididas em 5 bandas espectrais, e todas elas são armazenadas no formato GeoTIFF.

Cada banda de uma imagem CBERS (2 ou 2b) contém a coordenada geográfica de cada canto da imagem e pelo menos 3 chaves com informações sobre o tipo de coordenada geográfica (Latitude/Longitude, UTM, etc) e a projeção geográfica (SAD69, WGS84, etc).

Ritter e Ruth (1995) especificaram um padrão para o conteúdo das chaves (*GeoKeys*) na especificação do GeoTIFF. Foram atribuídos valores numéricos para representar as informações geográficas, agrupados por tipo de informação e colocados em tabelas. A Tabela 2 mostra um exemplo de chave (*GeoKey*) com as informações geográficas e seus respectivos valores.

Tabela 2 – Um exemplo de *GeoKey*.

Projected Coordinate System	
PCS	Key
PCS_SAD69_UTM_zone_22S	29182
PCS_WGS84_UTM_zone_22S	32722

2.3 Processamento de Imagens Digitais – Segmentação de Imagens

Equipamentos eletrônicos, incluindo o computador, trabalham com Sinais Digitais, que são informações codificadas no sistema binário de numeração (0 e 1) e transmitidas por pulsos elétricos, sendo que a existência do pulso indica o valor 1, e sua ausência indica o valor 0.

O Processamento de Imagens Digitais, segundo Sangwine e Horne (1998), refere-se à manipulação de imagens digitais em um computador, e faz parte de uma área mais abrangente chamada Processamento de Sinais Digitais.

Segundo Beucher e Meyer (1982), a segmentação é um processo complexo porque tenta traduzir para o computador um processo cognitivo extremamente sofisticado realizado através da visão humana. Segmentação de imagens não é o primeiro passo no entendimento da imagem estudada, mas uma consequência.

O princípio da segmentação foi introduzido no início do século XX por alguns psicólogos alemães (Khler, Wertheimer e Koffka) (MARQUES e VIEIRA, 1992). Eles mostraram que o sistema de visão humana realiza agrupamentos baseados na proximidade, similaridade e continuidade das imagens captadas. Tais agrupamentos são utilizados na classificação e análise semântica dos objetos percebidos. Esta idéia foi estendida para o contexto computacional e deu origem aos primeiros algoritmos de segmentação de imagens.

Os algoritmos de segmentação para imagens são geralmente baseados em uma das seguintes propriedades básicas de valores de níveis de cinza: descontinuidade e similaridade. Na primeira categoria, a abordagem é particionar a imagem baseada em mudanças bruscas nos níveis de cinza. As principais abordagens da segunda categoria baseiam-se em limiarização, crescimento, divisão e fusão de regiões.

Na segmentação procura-se distinguir as partículas umas das outras e do fundo. Esta distinção permitirá ao programa computacional interpretar *pixels* contíguos e agrupá-los em regiões. Esta etapa é a mais difícil do processo e também a mais delicada porque todas as medidas são realizadas sobre as regiões identificadas.

Adquirida a imagem e definida a forma com que será apresentada e armazenada, é realizado o processamento propriamente dito, executando toda a gama de operações e algoritmos possíveis de acordo com a necessidade.

Na maioria das aplicações, depois de adquirida e armazenada a imagem original, são utilizadas técnicas de segmentação de imagem (separação da imagem em regiões que tenham algum significado) e depois técnicas de análise (identificação e classificação destas regiões). Finalmente, são apresentados os resultados obtidos por esses processos.

Serão apresentadas algumas técnicas de segmentação de imagens implementadas computacionalmente e que, segundo a literatura, apresentam bons resultados dependendo do problema a ser resolvido:

2.3.1 Limiarização - A Intensidade Como Separador

A imagem de um objeto pode ser entendida como uma região formada por *pixels* contíguos que tenham em comum uma faixa de intensidades (PACIORNIK, 2001). O processo se baseia na análise do histograma da imagem, que é um gráfico que mostra o número de pontos de uma imagem que tem o mesmo tom de cinza. Na abscissa tem-se os níveis de cinza, enquanto na ordenada tem-se a quantidade de pontos. Uma imagem digital não colorida consiste de vários tons de cinza (ou no mínimo 2 tons, se for preto e branco).

Uma imagem digital pode ser representada por uma matriz. Cada ponto da matriz representa um ponto da imagem e contém o valor do tom de cinza desse ponto, ou seja, a intensidade luminosa do ponto.

A técnica de limiarização não funciona bem em imagens com iluminação não uniforme e com baixo contraste entre as diversas regiões.

Existem processos manuais e automáticos. Métodos automáticos baseiam-se na análise de propriedades do histograma e utilizam os mínimos do histograma que correspondem às tonalidades intermediárias entre duas bandas. Em geral, o operador escolhe a tonalidade próxima à banda de interesse, e o programa busca os mínimos mais próximos, em ambos os lados da banda. Basicamente todos os *pixels* que estão dentro de uma faixa de intensidade são classificados como pertencentes a uma mesma região. Em sua forma mais geral, a limiarização pode ser descrita matematicamente como (MARQUES e VIEIRA, 1992):

$$S(i, j) = k \quad \text{se} \quad T_{k-1} \leq f(i, j) < T_k \quad \text{para} \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

onde:

- $S(i, j)$ é a função resultante
- $f(i, j)$ é a função original (imagem)
- T_0, \dots, T_m são os valores de limiarização (*thresholding*)
- m é o número de classes distintas a serem aplicadas à imagem.

Se $m = 1$, o método de limiarização é denominado limiarização binária. Se, por outro lado, $m > 1$, o método é descrito como limiarização multi-modal. Existem dois problemas: os vales podem ser muito largos e planos, tornando a escolha de um valor mínimo arbitrária e os vales podem assumir valores muito baixos, ficando muito sensíveis a ruído.

Uma das técnicas limiarização é a adaptativa, que subdivide a imagem, aplica uma limiarização a cada subdivisão, obtendo assim vários tons de corte. Em seguida, interpola os tons de corte obtidos para as subdivisões para obter um tom de corte para cada da imagem. As vantagens da técnica são a menor sensibilidade à irregularidade de fundo e as variações locais. A lentidão do processo vem a ser a sua principal desvantagem.

2.3.2 Métodos Baseados nos Contornos dos Objetos

Os métodos de segmentação baseados na detecção de bordas envolvem basicamente a localização de regiões da imagem onde a variação dos tons de cinza ocorre de maneira relativamente abrupta. As discontinuidades, como são chamadas, podem ocorrer na forma de pontos isolados, linhas, segmentos ou curvas e, a partir delas, são formados os contornos, ou bordas, dos objetos contidos na imagem (MARQUES e VIEIRA, 1992).

De fato, a existência de tais discontinuidades é característica de um conjunto limitado de imagens. Em muitas delas, a transição de uma região para outra ocorre de maneira tão sutil que tornam a aplicação dos métodos de detecção de borda uma opção inviável.

Após a detecção das discontinuidades segue-se, geralmente, a aplicação de algum método capaz de conectar tais fragmentos e gerar contornos que estejam associados com os contornos reais dos objetos.

Um objeto pode ser entendido como uma região dentro de um contorno. Para distingui-lo, detecta-se as bordas e tenta-se construir um contorno a partir delas.

Este modelo é muito mais custoso computacionalmente, mas simula o comportamento do olho humano, e é muito flexível e genérico.

A extração de bordas é realizada por um algoritmo de detecção de bordas que considera os gradientes de nível de cinza da imagem original, para gerar uma imagem gradiente ou imagem de intensidade de borda.

O algoritmo calcula um limiar para a perseguição de bordas. Quando ele encontra um *pixel* com valor superior ao limiar estabelecido, tem-se início o processo de perseguição da borda. Observa-se a vizinhança para identificar o próximo *pixel* de maior valor de nível digital e segue-se nesta direção até que se encontre outra borda ou a fronteira da imagem. Deste processo gera-se uma imagem binária com os valores de 1 referentes às bordas e 0, a regiões de não-bordas.

A imagem binária será rotulada de modo que as porções da imagem com valores 0 constituirão regiões limitadas pelos valores 1 da imagem, constituindo a imagem rotulada.

2.3.3 Crescimento de Regiões

Define-se região como um conjunto conexo de pontos com uma propriedade em comum. A imagem é a soma de todas as regiões. Este conjunto de *pixels* contíguo se espalha bidirecionalmente e apresenta uniformidade. É uma técnica de agrupamento de dados, na qual somente as regiões adjacentes, espacialmente, podem ser agrupadas. A partir de um conjunto inicial de pontos (sementes), agrega-se a cada um deles novos *pixels* vizinhos que contenham propriedades similares, tais como cor, textura ou nível de cinza (GONZALES, 2002).

Inicialmente, este processo de segmentação rotula cada *pixel* como uma região distinta. Calcula-se um critério de similaridade para cada par de regiões adjacentes espacialmente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre as regiões. A seguir, divide-se a imagem em um conjunto de sub-imagens e então se realiza a união entre elas, segundo um limiar de agregação definido (SANGWINE e HORNE, 1998).

Para a união de duas regiões A e B vizinhas, deve-se adotar o seguinte critério:

- ⇒ A e B são similares (teste das médias);
- ⇒ A similaridade satisfaz o limiar estabelecido;

⇒ A e B são mutuamente próximas (dentre os vizinhos de A, B é a mais próxima, e dentre os vizinhos de B, A é a mais próxima).

Caso as regiões A e B satisfaçam estes critérios, estas regiões são agregadas, caso contrário o sistema reinicia o processo de teste de agregação. Um exemplo da técnica é mostrado na Figura 9.

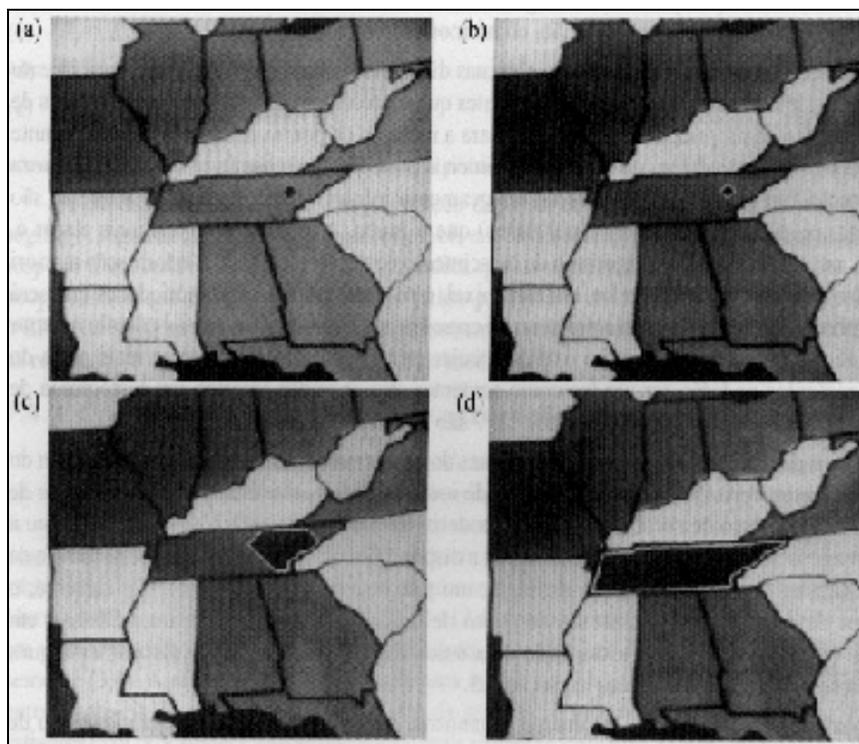


Figura 9 – Segmentação de imagem utilizando a técnica de crescimento de regiões: (a) Imagem original mostrando um ponto semente; (b) estágio primário de crescimento de região; (c) estágio intermediário de crescimento de região; (d) região final (Fonte: Gonzalez, 2002).

Para o processamento das imagens de satélite, uma mescla das técnicas de segmentação é indicada, utilizando o melhor potencial de cada técnica em partes específicas do processo.

Na área agrícola, muitos trabalhos foram elaborados para a distinção de uso e ocupação do solo e, entre eles, especificamente, para culturas perenes, como é o caso de áreas reflorestadas.

2.4 A Cultura do Eucalipto

O eucalipto é o insumo fundamental na produção de celulose e papel, carvão vegetal, painéis de madeira (MDF, HDF e MDP) e móveis. Apesar da imensa importância no cenário nacional, o plantio deste gênero ainda continua sendo alvo de críticas, na maioria das vezes fruto de uma visão fragmentada do assunto (citado em QUEIROZ e BARRICHELO, 2007).

Acusado injustamente de desgastar a terra, de consumir água em excesso, de gerar desertos verdes, o eucalipto na realidade é um aliado na preservação das matas nativas. Os 30 milhões de metros cúbicos de madeira de eucalipto que o Brasil utiliza a cada ano, teriam que ser conseguidos na Mata Atlântica, Floresta Amazônica, Cerrado ou então com madeira importada, não fossem as florestas cultivadas. No Brasil, a silvicultura é considerada necessária desde 1821, quando o então deputado paulista José Bonifácio de Andrada e Silva convenceu D. Pedro I a assinar a lei de proteção às árvores madeireiras de maior qualidade. Segundo os registros oficiais, o cultivo de eucalipto iniciou-se em 1868 no Rio Grande do Sul com um agricultor chamado Frederico de Albuquerque (QUEIROZ e BARRICHELO, 2007).

Atualmente, o Brasil possui quase 580 milhões de hectares de florestas, onde 530 milhões de ha estão em florestas nativas, 45,5 milhões de ha estão em Unidades de Conservação Federal e 4,8 milhões de ha estão em Florestas plantadas com pinus, eucalipto e acácia-negra (EMBRAPA, 2003).

O segmento de produção florestal agrega cerca de 4,6 milhões de empregos diretos e indiretos, gerando uma receita de R\$ 49,8 bilhões em 2007. Isso demonstra a importância do setor para a geração de empregos/renda, além dos tributos arrecadados que em 2007 chegaram a R\$ 8,45 bilhões (GAZETA, 2008).

Das várias espécies de eucalipto, algumas se destacam nas atividades de cultivo, produção e manufatura industrial.

Segundo a Embrapa (2003), as espécies mais indicadas para o cultivo e consequente manufatura são:

- *Eucalyptus grandis*: Possui o maior crescimento e rendimento volumétrico das espécies, e pode aumentar a qualidade da madeira com o aumento do ciclo.
- *Eucalyptus saligna*: Possui uma madeira mais densa, quando comparada ao *Eucalyptus grandis*, mas é bem menos suscetível à deficiência de Boro.
- *Eucalyptus urophylla*: Possui um crescimento menor que o *Eucalyptus grandis*, mas apresenta uma boa regeneração por brotação das cepas.

Há uma espécie híbrida que deriva do *Eucalyptus grandis* e do *Eucalyptus urophylla*, comumente chamado de “urograndis”, que segundo Queiroz e Barrichello (2007) é a espécie mais cultivada no Brasil.

Segundo Antunes (2003), a reflectância é a razão entre o fluxo de energia solar refletido pela vegetação e o fluxo de energia incidente na mesma. Essa relação é muito importante na análise de imagens de satélite, pois é a reflectância que está registrada na imagem. Cada tipo de objeto (vegetação, solo, concreto, água, etc) responde melhor a determinados comprimentos de onda, sendo mais fácil a análise quando combina-se as bandas espectrais de uma imagem de satélite de acordo com o objeto de estudo. A Figura 10 mostra a resposta de alguns objetos para determinados comprimentos de onda.

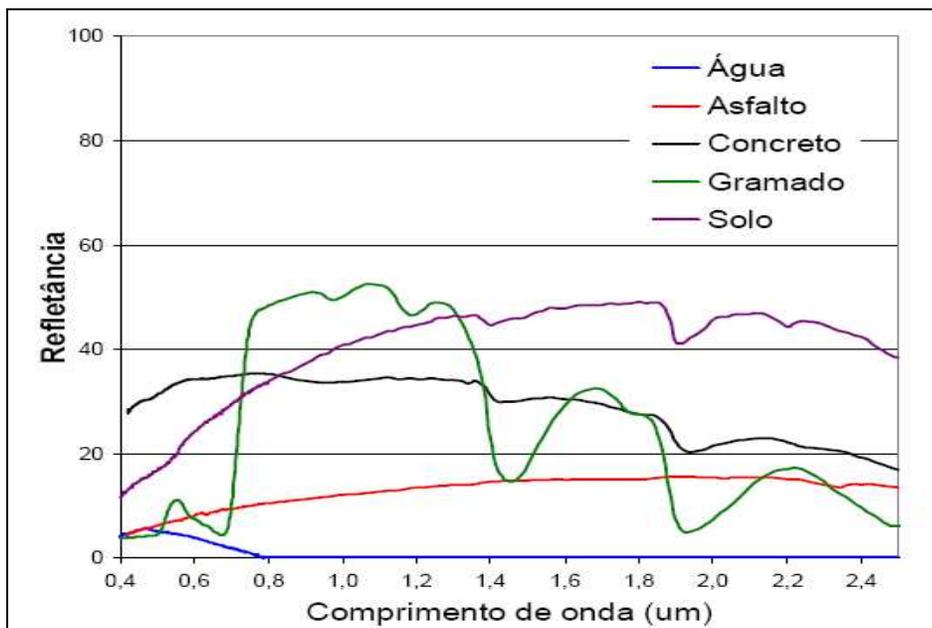


Figura 10 – Curvas de reflectância para água, asfalto, concreto, gramado e solo exposto (ANTUNES, 2003).

Os comprimentos de onda do infravermelho próximo (NIR), que vão de 0,7 a 1,3 μm , apresentam a melhor resposta da vegetação. Sendo assim, o eucalipto também será melhor analisado na banda infravermelha, que é a banda 4 no caso das imagens do satélite CBERS 2B.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Com base na literatura revisada, foi desenvolvido um sistema computacional denominado de SmartClass, que possibilita ao usuário:

- gerar uma imagem pela composição de 3 bandas de uma imagem CBERS;
- abrir uma imagem pancromática (tons de cinza);
- gravar as imagens geradas em BMP ou TIFF;
- recortar uma parte de uma imagem (pancromática ou composta) e gravá-la em BMP ou TIFF;
- verificar as informações geográficas contidas nas imagens;
- segmentar a imagem, definindo assim as áreas de cultivo, mata nativa, rios e lagos;
- verificar a presença, ou não, de áreas de cultivo de eucalipto.

A Figura 11 mostra um esquema gráfico do sistema SmartClass e suas funcionalidades.

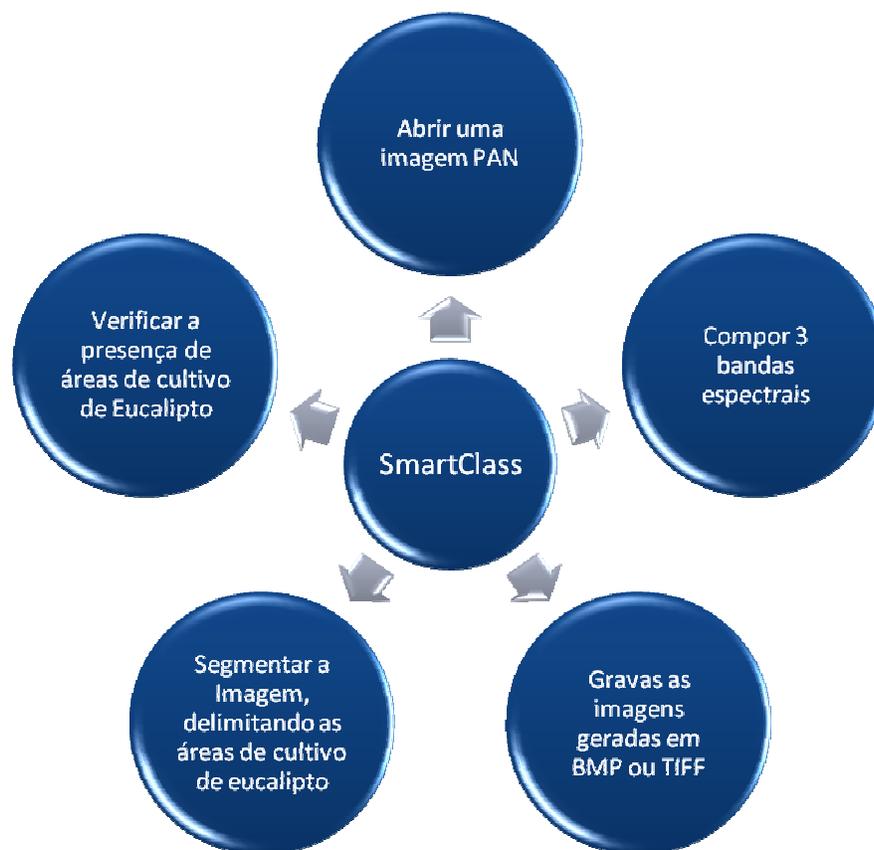


Figura 11 – Esquema gráfico do sistema SmartClass.

No desenvolvimento do sistema SmartClass, foram utilizadas as seguintes ferramentas:

- Computador:
 - HP/COMPAQ Presario C700
 - Processador Intel Core 2 Duo T5750 2,00 GHz
 - 2 GB Memória RAM DDR2 667MHz
 - HD SATA 120GB 5400 rpm
- Sistema Operacional
 - Windows Vista Home Basic SP1
- Ferramenta de Desenvolvimento
 - Borland Delphi 7
- Imagens do satélite CBERS 2B obtidas pelo instrumento CCD

O programa foi desenvolvido tendo em vista um ambiente de fácil utilização, dispondo os ítems visuais de forma que o usuário sinta-se à vontade, tendo opções intuitivas para o uso. Também foram acrescentados dispositivos e regras internas que disciplinam a utilização, impedindo ações indevidas e guiando o usuário nos processos necessários ao resultado final.

Para um ambiente intuitivo e de fácil utilização, o ambiente de uso do sistema é composto de uma janela principal, que é o início de todo o processo, e as demais janelas, de imagens e ferramentas, são inseridas na janela principal, criando assim um ambiente único de trabalho. Isso evita o desvio de atenção pela mudança de ambiente (várias janelas em um mesmo programa).

A janela principal, mostrada na Figura 12, desenvolvida no método MDI, que consiste em uma janela que será a *MDIForm* e as demais estarão incluídas e delimitadas nesta janela. As janelas *MDIChild* não podem ser utilizadas ou manipuladas fora da janela principal, dando ao usuário um ambiente único de trabalho.

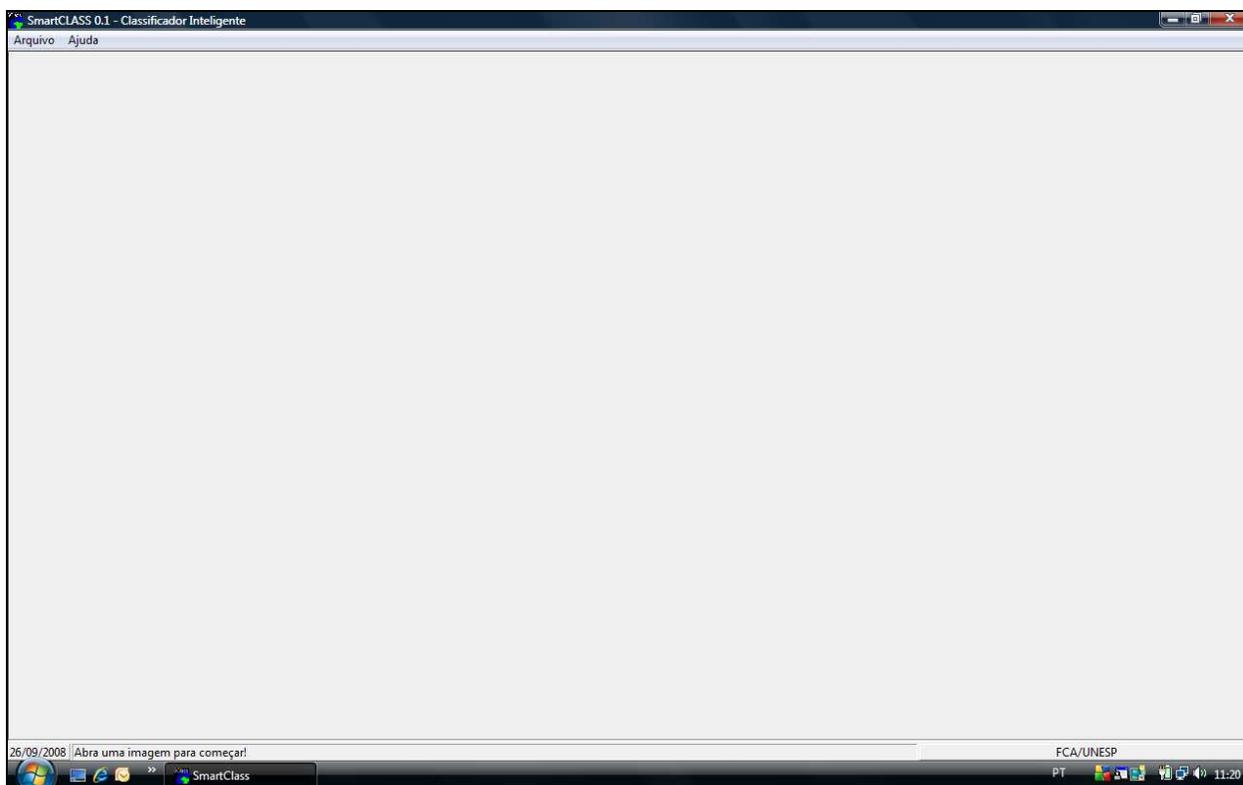


Figura 12 – Janela principal do sistema SmartClass

A janela principal é composta somente pela opção de abrir uma imagem PAN ou compor uma imagem a partir de 3 bandas espectrais. Isso evidencia que nada será feito sem uma imagem. Assim que o usuário abre ou compõe uma imagem, as ferramentas para o manuseio e processamento da mesma, aparece na janela principal.

3.1 Abrir e compor imagens GeoTIFF

As imagens GeoTIFF não podem simplesmente serem abertas e exibidas na tela, por vários motivos, entre eles estão as *GeoKeys* e o tamanho físico das imagens. Elas devem ser lidas do arquivo e escritas na memória RAM por partes, para depois serem exibidas.

Para a leitura do arquivo são criados estruturas que auxiliarão no processo de localização das informações e na transferência do conteúdo lido para a memória RAM, são ponteiros – variáveis que armazenam o endereço físico do arquivo ou parte dele – e memórias auxiliares temporárias chamadas *buffers*.

Nos processos de abertura e composição de uma imagem GeoTIFF, as *tags* TIFF e as *GeoKeys* são lidas, interpretadas e utilizadas nos sub-processos. Por isso, se a imagem inserida no sistema SmartClass não for uma imagem GeoTIFF, o programa a rejeita e mostra uma mensagem avisando o usuário, porque nas etapas do processamento da imagem existem tarefas relacionadas às *tags* TIFF e as *GeoKeys* que não podem ser ignoradas.

No desenvolvimento do sistema SmartClass foram utilizados alguns componentes presentes no ambiente de desenvolvimento Delphi 7. Como já mencionado, o formulário (janela) que conterá a imagem GeoTIFF foi definido no estilo MDI, mais precisamente, a propriedade *FormStyle* do formulário recebeu o valor *MDIChild*. Para receber a imagem GeoTIFF foi colocado um componente TImage no formulário.

3.1.1 Abertura de imagens pancromáticas (tons de cinza)

Como visto anteriormente, há a necessidade de se utilizar uma Imagem GeoTIFF. Para a abertura da imagem segue-se os seguintes passos:

- 1 - Cria-se um *buffer* para a imagem temporária;
- 2 - Carrega-se a referência do arquivo físico através de um ponteiro;
- 3 - Lê-se as *tags* e as *GeoKeys*;
- 4 - Lê-se cada linha e escreve-se *pixel* por *pixel* no componente TImage;
- 5 - Esvazia-se o *buffer* e libera a memória.

3.1.2 Composição de imagens pelas bandas R – G – B – Infravermelho

Neste processo também há a necessidade de uma imagem GeoTIFF. Para a composição das bandas são necessários os seguintes passos:

- 1 - Cria-se 3 *buffers*, uma para cada banda da imagem temporária;
- 2 - Carrega-se as referências dos arquivos físicos através de ponteiros;
- 3 - Lê-se as *tags* e as *GeoKeys*;
- 4 - Lê-se cada linha de cada banda e escreve-se as bandas nas propriedades RGB dos *pixels*, que, um a um, são escritos na imagem resultante, e inserida no componente TImage;
- 5 - Esvazia-se os *buffers* e libera a memória.

3.2 Leitura e interpretação das *GeoKeys*

Após a leitura das *tags* TIFF e das *GeoKeys*, são realizados alguns cálculos para reconhecer as informações geográficas nelas contidas. Isso é feito comparando os valores lidos nas *tags* e *GeoKeys* com as tabelas especificadas no padrão GeoTIFF. Caso seja informado um valor que não esteja incluso nas tabelas, será informado ao usuário que as informações geográficas não constam no padrão GeoTIFF. Isso pode ocorrer com os novos padrões, como por exemplo, o SIRGAS 2000, que é o padrão reconhecido pelos órgãos responsáveis pelo georreferenciamento no Brasil (INCRA, IBGE, etc). Até então, não há novas inclusões nas tabelas do padrão GeoTIFF.

As informações geográficas contidas no GeoTIFF são as seguintes:

- as coordenadas geográficas dos pontos de controle localizados nos cantos da imagem;
- as coordenadas UTM de cada *pixel*, calculadas pelas fórmulas (2) e (3):

$$\boxed{pos(x) = orig + (incremento \times x)} \quad (2)$$

$$\boxed{pos(y) = orig - (incremento \times y)} \quad (3)$$

onde:

- o *pos(x)* e *pos(y)* são as coordenadas UTM do pixel;
 - o *orig* é a coordenada da margem esquerda da imagem (origem);
 - o *incremento* é a diferença entre a imagem exibida e a origem;
 - o *x* e *y* são as coordenadas do *mouse* na tela.
- a projeção geográfica e;
 - o DATUM da imagem.

3.3 Recorte e gravação das imagens (BMP ou TIFF)

É possível gravar a imagem gerada, ou mesmo parte dela (recorte) nos formatos BMP ou TIFF. Para isso, foram inseridas no sistema SmartClass algumas ferramentas para gravação e recorte das imagens – pancromática ou composição de bandas RGB.

As ferramentas ficam visíveis e disponíveis após a abertura ou composição de uma imagem, garantindo assim que haverá uma imagem para realizar o processamento.

Estão disponíveis, por enquanto, duas opções de ferramentas:

- recorte → com o auxílio de uma grade que divide a imagem em 4, 8 ou 16 partes iguais, para possibilitar o processamento de uma área menor ou específica; e,
- gravação de uma cópia da imagem composta por determinadas bandas, ou uma cópia de uma parte da imagem.

O recorte deixa na tela somente a área selecionada, eliminando as outras partes da imagem. Após o recorte também há a possibilidade de gravação da porção da imagem nos formatos BMP ou TIFF.

3.4 Método para os testes e coleta dos resultados

Para a obtenção dos resultados, a padronização dos recursos é essencial. Sem um padrão nos testes, os resultados poderiam ser alterados e distorcer as conclusões. Os ítems seguintes mostram os padrões adotados para a realização dos testes.

3.4.1 O Satélite

Para os testes serão utilizadas as imagens do satélite CBERS 2B, por ser um satélite brasileiro, que disponibiliza as imagens de forma gratuita, além de imagear áreas já conhecidas.

3.4.2 As Bandas Espectrais

A composição das bandas espectrais de uma imagem de satélite deve ser feita de acordo com os objetivos. As bandas escolhidas e a ordem na qual são compostas modificam a imagem resultante.

As Figuras 13 e 14 mostra as imagens resultantes das combinações possíveis com as bandas 2, 3 e 4.

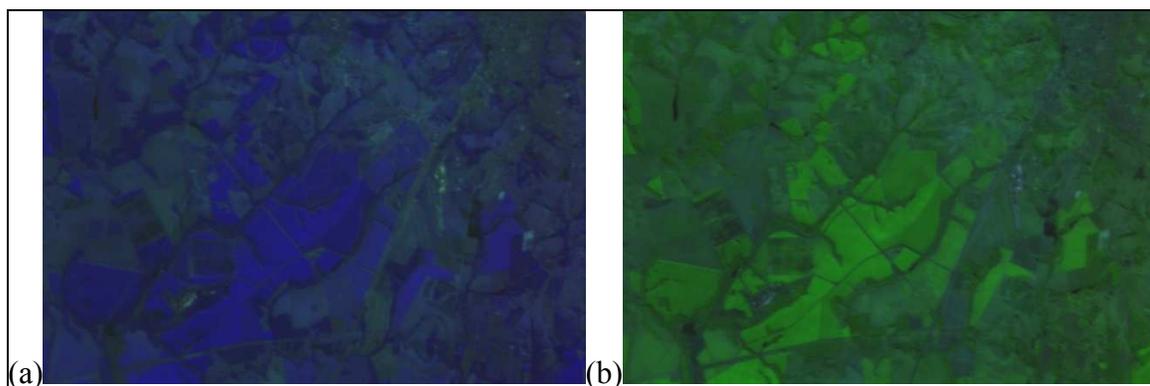


Figura 13 – Combinações das Bandas 2, 3 e 4: (a) bandas 2-3-4 (b) bandas 2-4-3

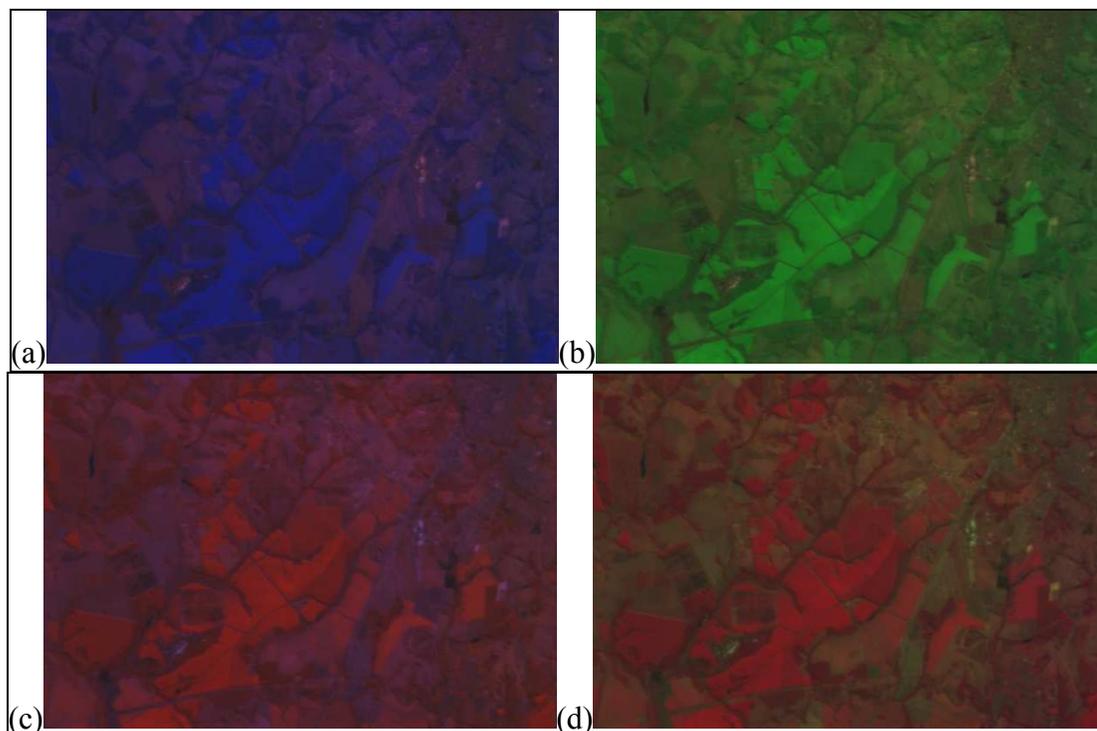


Figura 14 – Combinações das Bandas 2, 3 e 4
 (a) bandas 3-2-4 (b) bandas 3-4-2 (c) bandas 4-2-3 (d) bandas 4-3-2

Para que a combinação das bandas espectrais de uma imagem de satélite esteja de acordo com os requisitos para alcançar os objetivos de um trabalho, não basta estar visualmente de acordo com as necessidades. A combinação das bandas espectrais deve ser funcional. Há uma diferença entre o que é visível ao olho humano e o que é sensível ao processamento computacional.

Em diversas áreas, o processamento de imagens é feito para auxiliar ou corrigir uma interpretação humana, como é o caso da medicina. Imagens radiológicas (mamografias, ultrasonografias, etc) são submetidas à um processamento computacional para auxiliar o médico em um diagnóstico.

Sendo assim, a escolha da combinação das bandas espectrais deve ser feita de acordo com o processamento desejado, isso pode requerer um trabalho prévio que verifique as funcionalidades das combinações desejadas.

Para os testes foi escolhida a composição das bandas 4, 2 e 1, por mostrar-se mais eficiente nos testes, destacando as áreas de cultivo de eucalipto. Outras

combinações, como por exemplo, das bandas 4, 3 e 2, são melhores que a combinação das bandas 4, 2 e 1 para o olho humano, mas no processamento essa vantagem é convertida em desvantagem, causando conflitos entre algumas áreas de interesse.

A banda 4 (infravermelho) foi incluída para aumentar a reflectância da vegetação na imagem final, especialmente a reflectância do eucalipto.

A Figura 15 mostra a composição escolhida para os testes.



Figura 15 – Composição das Bandas 4, 2 e 1.

3.4.3 Área para a verificação da verdade de campo

Para a maior praticidade da verificação do processamento, foi escolhida uma área conhecida para a validação da classificação das imagens.

A área situa-se no município de Botucatu/SP, entre as coordenadas planas 748360 / 762500 S e 7462940 / 7453480 WGR, zona 22, como mostra a Figura 16.



Figura 16 – Localização geográfica da área utilizada para validação da classificação das imagens. Fonte: <<http://maps.google.com/>> Acesso em: 05/11/2008.

3.4.4 Média da reflectância das área de cultivo de eucalipto

Com base nas reflectâncias das áreas conhecidas de cultivo de eucalipto, uma média foi estabelecida, com valores variando de 0 a 255. Para o cálculo da média, foi utilizada a área para a validação da classificação, ítem 3.4.3, e uma imagem do satélite CBERS 2B composta pelas bandas 4, 2 e 1. Coletando pontos dispersos em uma área conhecida de cultivo de eucalipto, valores para as reflectâncias no padrão de cores RGB serão determinados pela amostragem da área com eucalipto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a aquisição do material e definição dos métodos, os testes foram realizados. Os resultados foram divididos em duas partes para uma melhor compreensão: resultados do desenvolvimento do sistema SmartClass e o processamento das imagens de satélite para a detecção das áreas de cultivo de eucalipto.

4.1 Resultados do desenvolvimento do sistema SmartClass

O sistema SmartClass foi desenvolvido utilizando a ferramenta Delphi 7 no modelo MDI, que é uma Janela principal que contém todas as janelas auxiliares, criando um ambiente de trabalho único e de fácil utilização.

No desenvolvimento do programa, foram feitas seis partes: uma sendo o programa principal e outras cinco contendo as informações necessárias para a manipulação dos arquivos GeoTIFF e para a leitura e interpretação das informações geográficas das imagens (*GeoKeys*).

Após algumas modificações e com a disponibilização do *Service Pack 1* para o sistema operacional Windows Vista, por parte da Microsoft, o sistema SmartClass tornou-se apto a trabalhar neste sistema operacional. Não foi implementada nenhuma versão para as plataformas Linux e Macintosh (MAC), deixando o programa limitado à plataforma Windows XP ou Vista.

Com uma interface amigável e de fácil utilização, o programa desenvolvido demonstrou ser eficaz na detecção de áreas de cultivo de eucalipto.

Tem-se a seguir as telas do programa e a descrição dos recursos disponíveis.

Na tela inicial, Figura 17, encontram-se apenas as opções de abrir uma imagem pancromática (banda 5 do satélite CBERS 2 e 2B) ou fazer a composição de uma imagem a partir de 3 bandas espectrais.

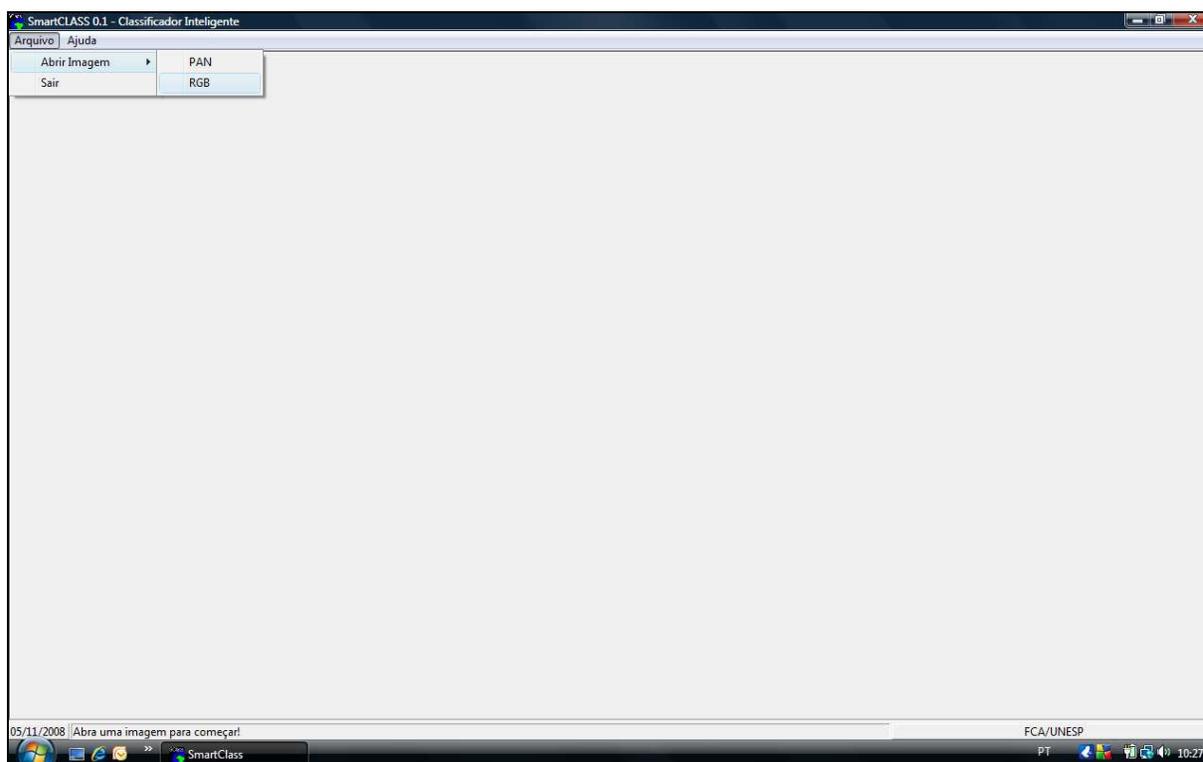


Figura 17 – Tela inicial do sistema SmartClass

Ao utilizar o menu ABRIR IMAGEM → PAN, é exibida uma tela para a escolha da imagem a ser aberta, e no título da janela é exibida a mensagem “*Abrir Banda PAN – CBERS 2 e CBERS 2B → Banda 5*”.

Se o usuário abrir uma banda que não seja pancromática, ela será exibida, mas como não é uma imagem e sim uma das bandas que compõem a imagem, a exibição ficará bastante prejudicada.

A Figura 18 mostra a abertura da banda 1 (azul) como uma imagem pancromática.

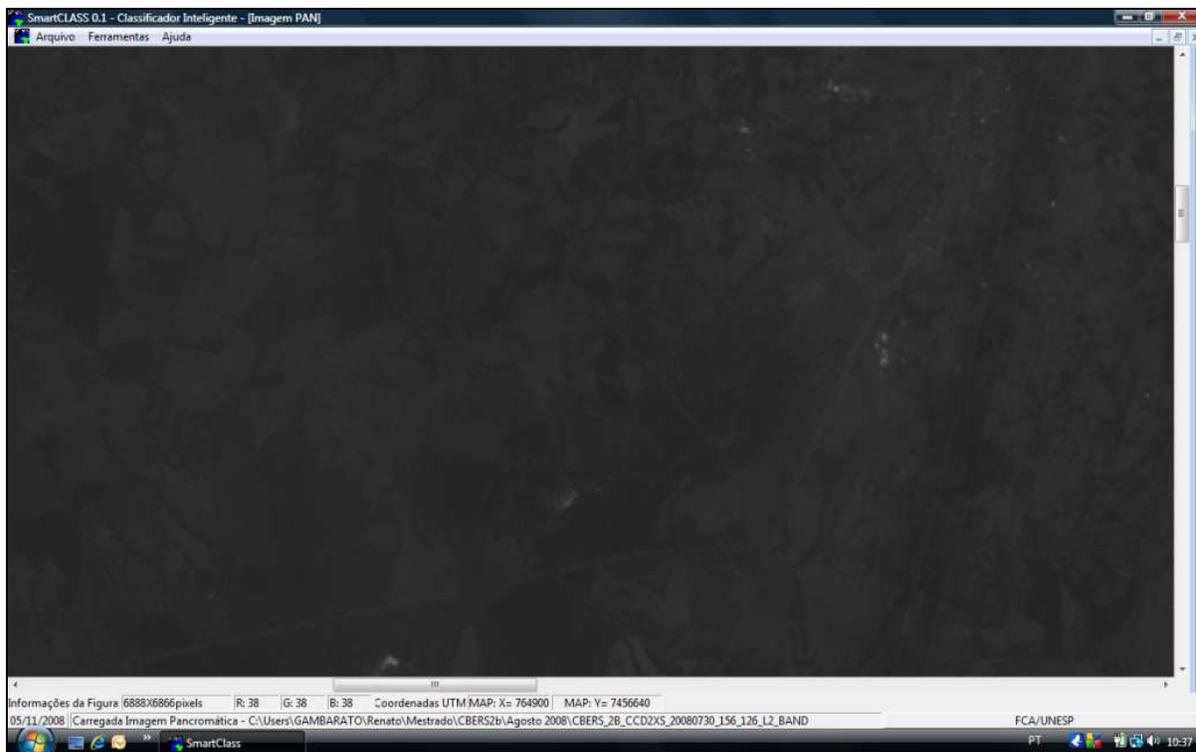


Figura 18 – Banda 1 (azul) aberta como uma imagem PAN

Ao utilizar o menu ABRIR IMAGEM → RGB, são mostradas três janelas para a escolha das bandas a serem compostas.

A seqüência da composição, como mencionado anteriormente, influencia a imagem resultante.

Nos títulos das janelas de escolha das bandas para a composição, são informadas a seqüência de abertura e as bandas correspondentes para a composição da maneira como vemos em uma foto. Essa seqüência não será utilizada para outras composições que são feitas de acordo com a finalidade da composição.

A Figura 19 mostra uma das janelas de escolha das bandas para composição.

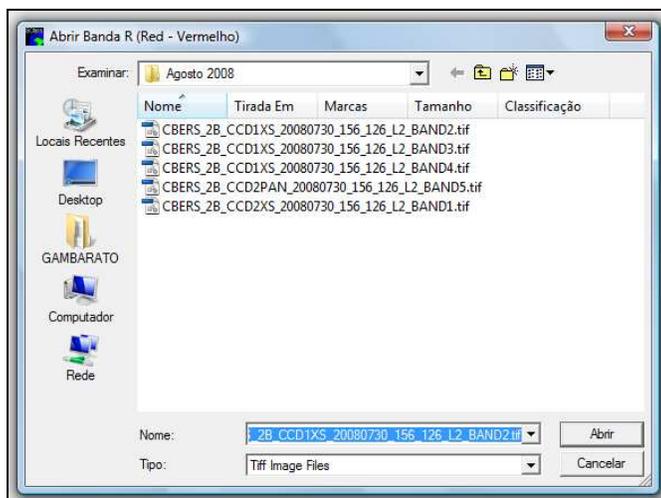


Figura 19 – Janela de escolha de bandas para composição.

Após a abertura de uma imagem, ou a composição de bandas, a imagem resultante é apresentada e no rodapé da tela principal é exibida uma barra com as informações da imagem. Nas informações exibidas constam o tamanho da matriz de pixels e os valores RGB e as Coordenadas UTM do local onde a ponta da seta do mouse encontra-se. A Figura 20 mostra uma imagem composta e a barra de informações da imagem.

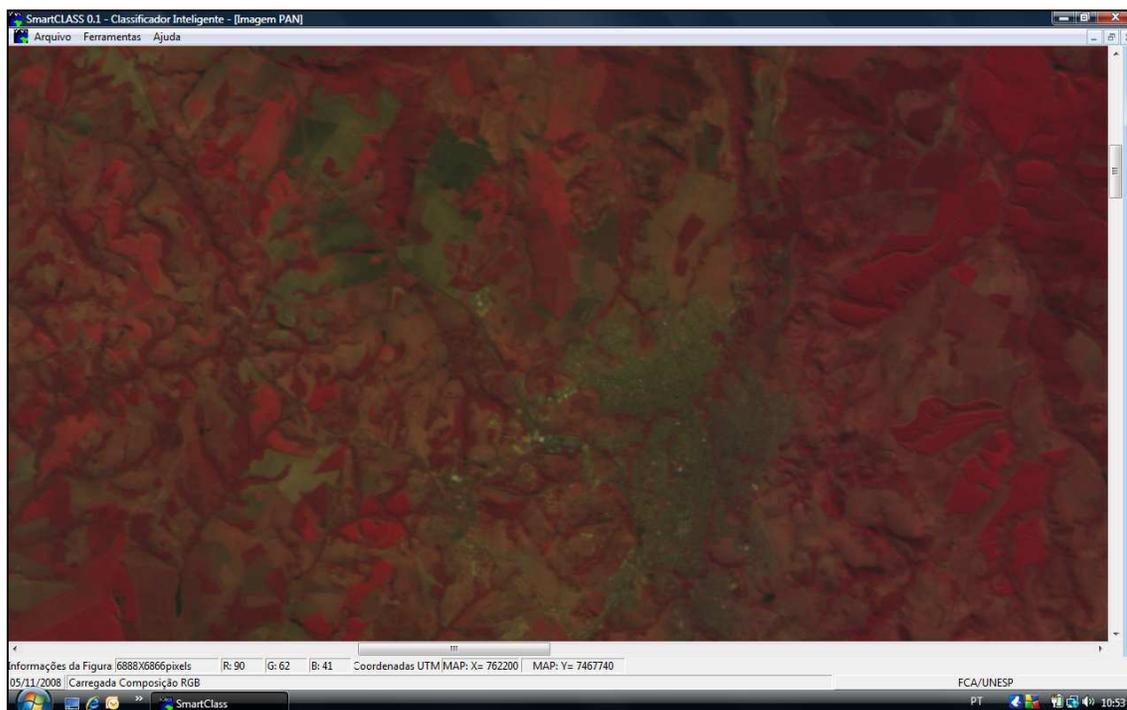


Figura 20 – Imagem composta e a barra de informações da imagem

Com a imagem na tela, um novo menu é exibido, o menu FERRAMENTAS. Este menu contém algumas ferramentas para a manipulação e o processamento da imagem aberta. São as seguintes:

- MOSTRAR GRADE

Esta ferramenta divide a imagem em 4, 8 ou 16 partes, separando-as com linhas amarelas horizontais e verticais. Ao lado dos botões no menu MOSTRAR GRADE encontram-se pequenas imagens que demonstram como será a divisão.

Quando uma grade é inserida, é ativada a opção de recorte de uma das partes definidas pela grade. Para efetuar o recorte de uma parte da imagem, basta clicar com o botão direito do mouse. Uma mensagem é exibida informando o quadrante ao qual a porção recortada da imagem pertence. Ao término do recorte, a imagem principal é descartada e apenas o recorte é exibido.

A Figura 21 mostra uma imagem com as linhas da grade e a mensagem do recorte.

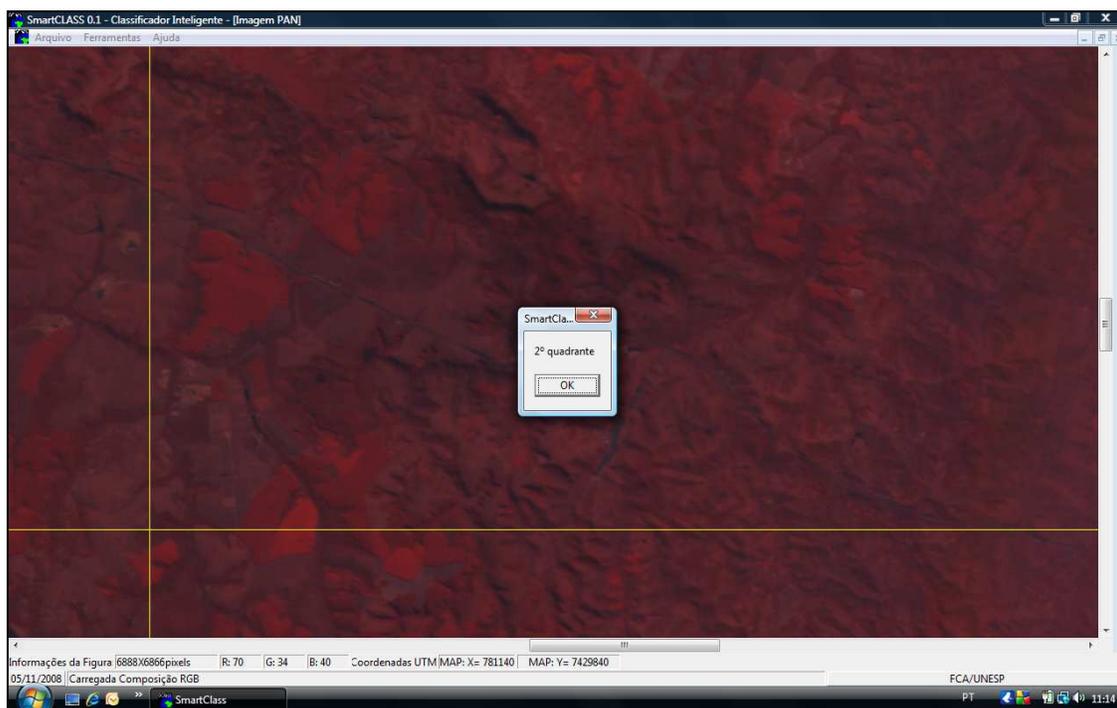


Figura 21 – Linhas de grade e mensagem de recorte

- GEOTIFF → MOSTRAR INFORMAÇÕES

Esta ferramenta mostra uma janela com as informações geográficas (*GeoKeys*) presentes na imagem exibida. As imagens GeoTIFF contêm pelo menos três chaves com as informações geográficas:

- Projeção Geográfica de Referência – *GTModelTypeGeoKey* – UTM, por exemplo;
- Projeção Geográfica da Imagem – *GTRasterTypeGeoKey*;
- Sistema de Coordenadas – *ProjectedCSTypeGeoKey* – SAD69-22S, por exemplo.

A Figura 22 mostra a janela de informações geográficas da imagem.

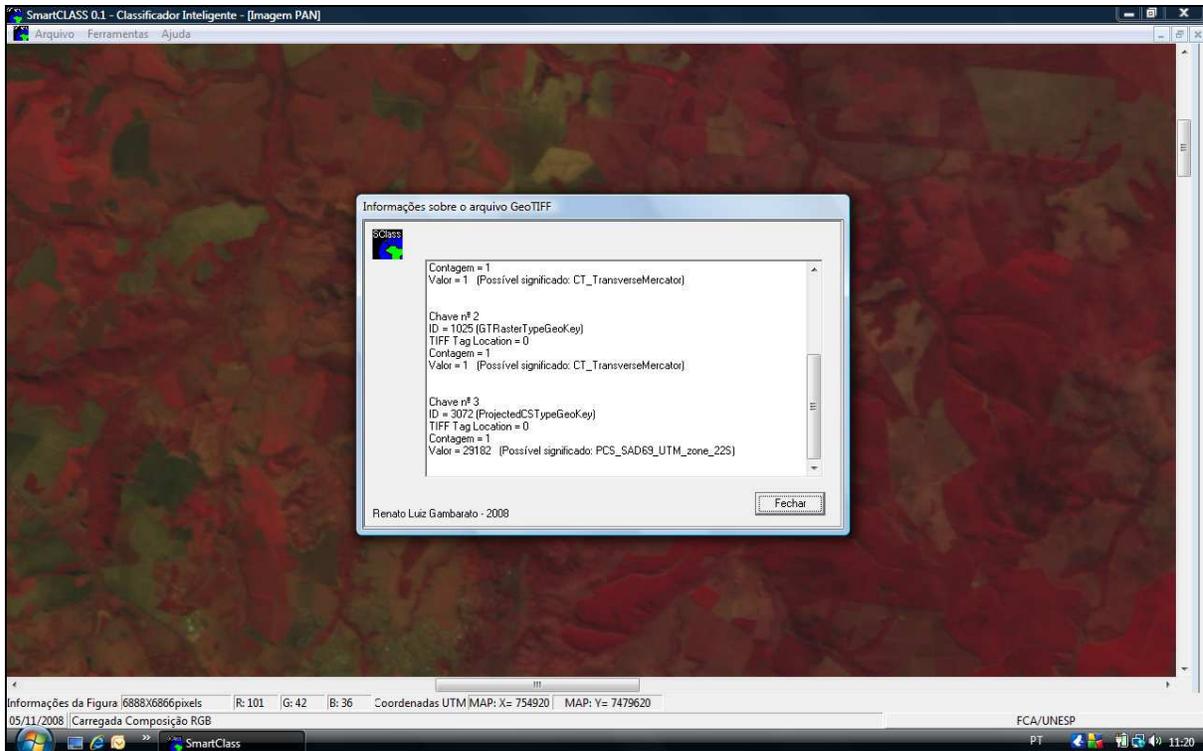


Figura 22 – Janela de informações geográficas da imagem (*GeoKeys*)

- PROCESSAR IMAGEM → CBERS 2B

Esta ferramenta processa a imagem e detecta áreas de cultivo de eucalipto. Para uma melhor visualização e entendimento, uma “cortina” preta desce sobre a imagem, deixando visíveis apenas as áreas de cultivo de eucalipto. A Figura 23 mostra o processamento de uma imagem.

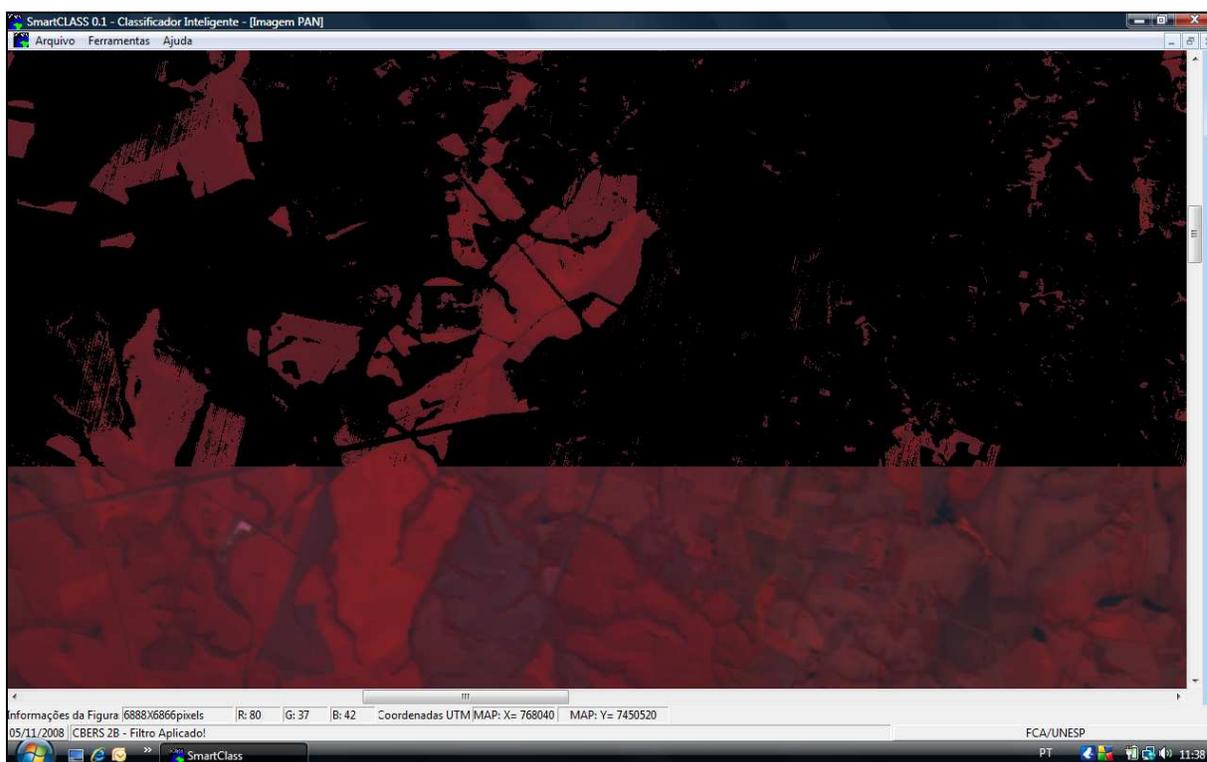


Figura 23 – Processamento de uma imagem e detecção das áreas de cultivo de eucalipto

4.2 O processamento das imagens e discussões sobre os resultados obtidos

Nas áreas conhecidas de cultivo de eucalipto e com uma imagem CBERS 2B composta pelas bandas 4, 2 e 1, foram encontradas as seguintes reflectâncias médias:

R (Red – Vermelho) → de 83 a 150

G (Green – Verde) → de 28 a 34

B (Blue – Azul) → de 36 a 41

Foi utilizada uma imagem CBERS 2B, adquirida com data de 30/07/2008. A imagem é disponibilizada pela internet na página web do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, e é composta de cinco arquivos, cada um contendo uma banda espectral.

As imagens adquiridas pelo satélite CBERS 2B contêm apenas a porção sul do município de Botucatu/SP, pois a faixa de imageamento do satélite passa pelo meio do território do município, tornando obrigatório o uso de duas imagens para obter o território todo.

Como mencionado anteriormente, a imagem utilizada nos testes foi composta pelas bandas espectrais de números 4, 2 e 1, que correspondem às bandas Infravermelho (IR), Verde (G) e Azul (B), respectivamente.

Após o processamento, foram obtidos os resultados mostrados nas Figuras 24 e 25, onde está delimitada por um retângulo amarelo a área escolhida para a validação dos resultados, ou seja, uma área com cultivo de eucalipto para a verificação das marcações feitas pelo programa.

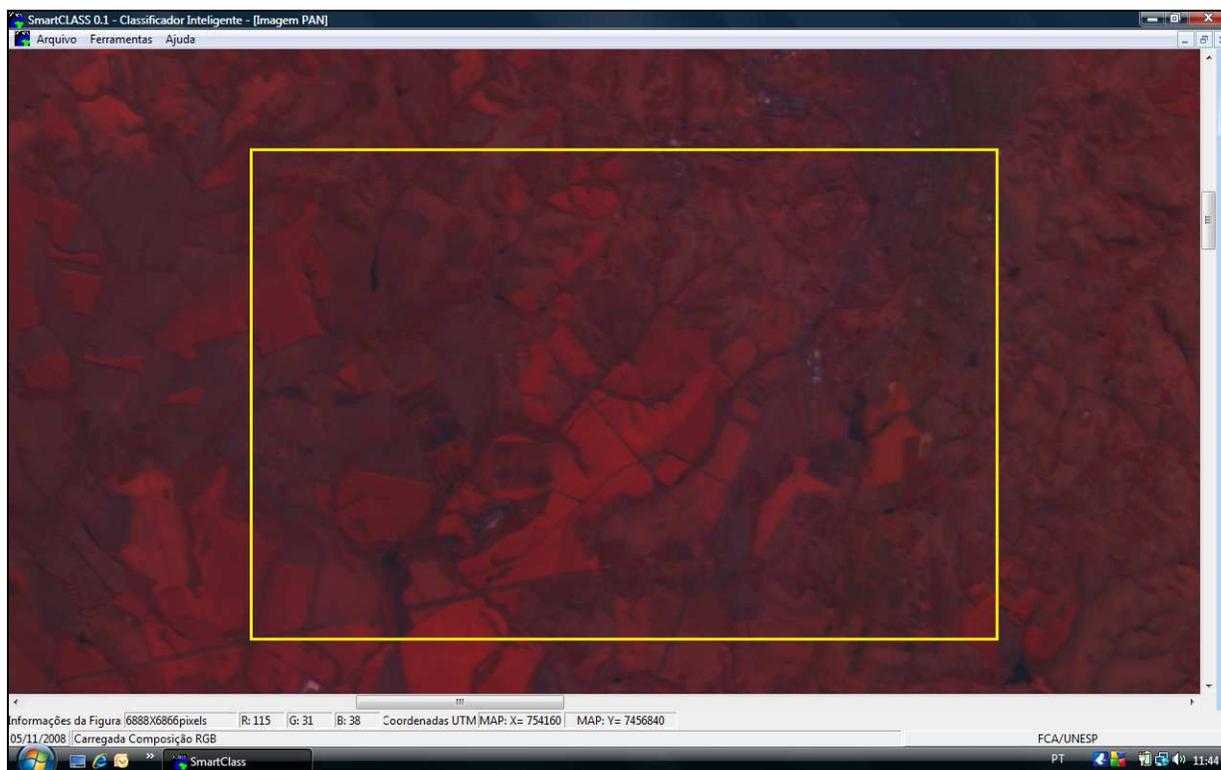


Figura 24 – Imagem de teste antes do processamento.

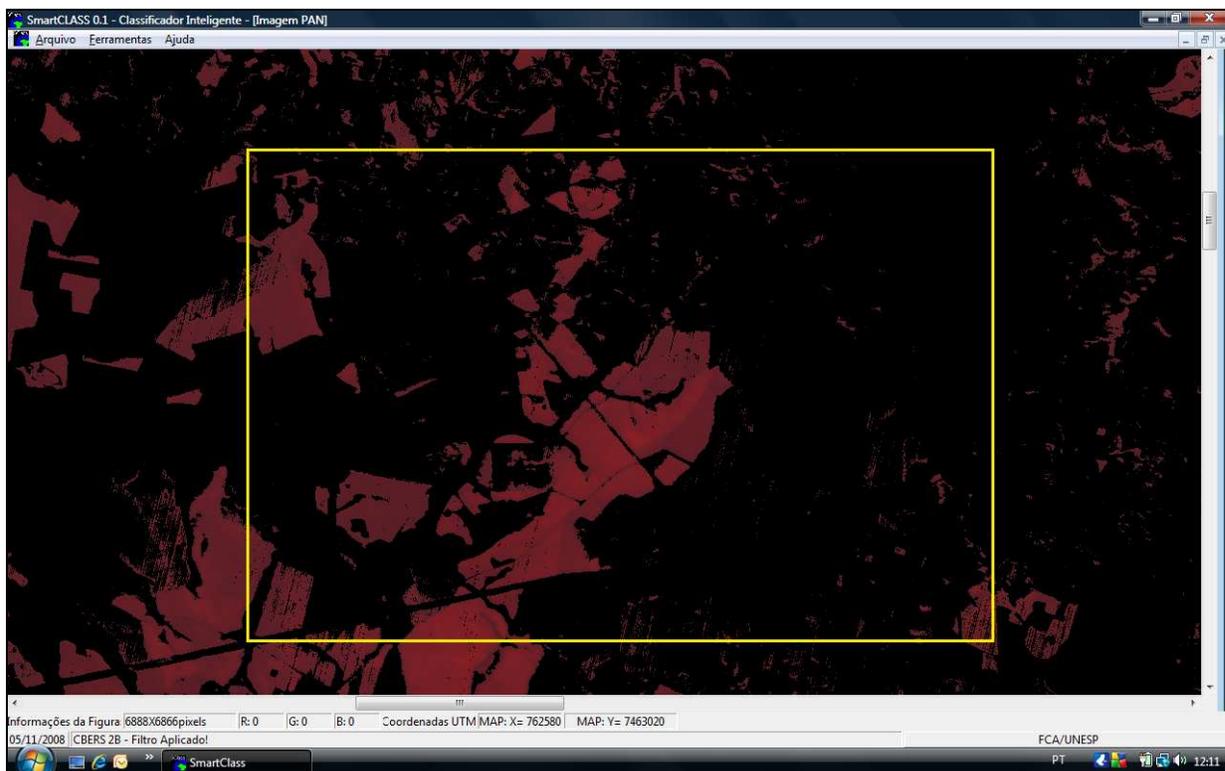


Figura 25 – Imagem de teste após o processamento.

As áreas classificadas com cultura de eucalipto mostraram áreas distintas, que provavelmente representem locais com diferentes estágios de desenvolvimento da cultura. Com isso, seria indicado estudos posteriores nesse aspecto, visando a classificação por etapa de desenvolvimento para fins de exploração da cultura.

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o sistema computacional SmartClass possibilitou a visualização de imagens de satélite diretamente dos arquivos obtidos no formato GeoTIFF, sem tratamento ou conversões prévias.

A segmentação da imagem pelo sistema foi eficaz na detecção do objeto de estudo, com baixo tempo de processamento e de fácil utilização.

O programa classificou facilmente as áreas cultivadas com eucalipto, levando-se em conta a validação visual da área conhecida.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADOBE. **TIFF™ Revision 6.0**. 1992. Disponível em:

<<http://partners.adobe.com/public/developer/en/tiff/TIFF6.pdf>>. Acesso em 02/08/2008.

ALECRIM, E. **Imagens para a Internet: JPG, GIF e PNG**. 2004. Disponível em:

<<http://www.infowester.com/imagensnet.php>>. Acesso em: 02/08/2008.

ALMEIDA, A.B. **Usando o computador para Processamento de Imagens Médicas**. 1998.

Disponível em:

<<http://www.informaticamedica.org.br/informaticamedica/n0106/imagens.htm>>. Acesso em: 20/01/2008.

ANTUNES, M.A.H. **Correções Atmosféricas de imagens de Satélite utilizando o modelo**

6S. 2003. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/174-SR21.pdf>. Acesso em:

06 nov. 2008.

BEUCHER, S., MEYER, F. **Image Analysis and mathematical Morphology**. London:

London Academic Press. 1982.

EMBRAPA. **O cultivo do Eucalipto**. 2003. Disponível em:

<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/index.htm>>. Acesso em: 04/11/2008.

GAZETA Grupo de Comunicações. **Anuário Brasileiro de Silvicultura**. Santa Cruz do Sul, RS: Editora gazeta. 2008.

GONZALES, R.C., WOODS, R.E. **Digital Image Processing**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall. 2002. 793 p.

INPE. **CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres: Histórico**. 2008. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/?content=historico>>. Acesso em: 20/01/2008.

_____. **CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres: Câmeras Imageadoras**. 2008a. Disponível em: < <http://www.cbbers.inpe.br/?content=cameras1e2e2b>>. Acesso em: 20/01/2008.

MARQUES, O., VIEIRA, H. **Processamento Digital de Imagens**. São Paulo: Ed. Brasport Livros e Multimídia Ltda. 1992.

PACIORNIK, S. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens**. 2001. Disponível em: <<http://www.dcm.puc-rio.br/Cursos/IPDI/tsld116.htm>>. Acesso em: 24/08/2007.

QUEIROZ, L.R.S., BARRICHELO, L.E.G. **O Eucalipto – um século no Brasil**. São Paulo: Antonio Bellini Editora & Cultura. 2007.

RITTER, N., RUTH, M. **GeoTIFF Format Specification – Revision 1.0**. 1995. Disponível em: < landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/pdfs/geotiff_spec.pdf >. Acesso em: 02/08/2008.

SANGWINE, S.J., HORNE, R.E.N. **The Colour Image Processing Handbook**. 1 ed. London: Chapman & Hall. 1998. 440 p.